

Vorlesungsreihe

# ASTRONOMIE

FH Astros

Sommersemester 2015



## Die FH Astronomen – der gemeinsame Schreibtisch

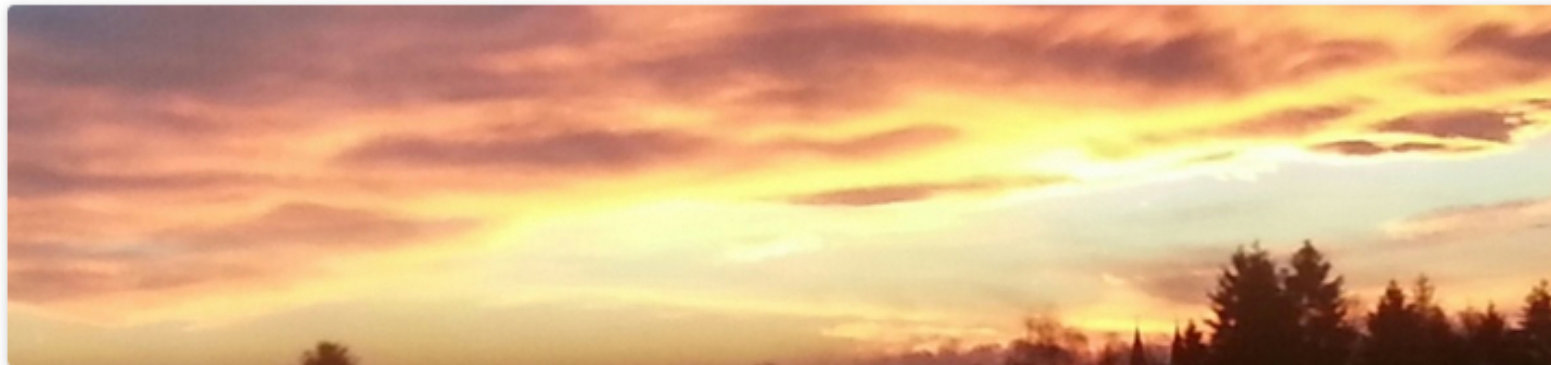
Wir bewohnen den Elfenbeinturm zu unserer gedankenverlorenen Erbauung.

[STARTSEITE](#)

[NEUES](#)

[ÜBER](#)

[IMPRESSUM](#)



[FHAstros.wordpress.com](http://FHAstros.wordpress.com)

# Die Entwicklung des Naturwissenschaftlichen Weltbildes

---

Eine kleine Einführung

# Inhalt

---

1. Einführung
2. Religion und Schöpfungsmythen
3. Naturwissenschaftliche Entwicklung
  1. Der Ursprung in Griechenland
  2. Spätantike und Mittelalter
  3. Renaissance
  4. Das naturwissenschaftliche Zeitalter
  5. Die Moderne
4. Kosmologie
5. Elementarteilchenphysik
6. Zusammenfassung

# Einführung

---

- Persönliche Motivation
- Entwicklung der westlichen Kultur und Philosophie
  - Enge Verknüpfung der westlichen / westasiatischen Kultur mit den Naturwissenschaften
  - Philosophie ist der Ausgangspunkt der Naturwissenschaften
  - Sedlak: Wissenschaft und Philosophie sind Gegensätze:
    - Wissenschaft beschäftigt sich mit Wissbarem
    - Philosophie beschäftigt sich mit Unwissbarem
      - Gibt es Materie oder das Universum wirklich?
      - Warum gibt es das Universum?
  - Religionen versuchen Klärung des Warum und Woher

# Einführung

## Modellbildung 1

---

### Modellbildung

- Begriff des Modells ist ein zentraler Punkt des naturwissenschaftlichen Verständnisses

### Karl Popper

#### ■ Grundthesen

- Man kann leicht fast jede Theorie mit Bestätigungen unterstützen, wenn man danach sucht.
- Bestätigungen sind aber nur relevant, wenn sie riskante Vorhersagen betreffen.
- Jede gute Theorie verbietet bestimmte Dinge und Vorgänge.
- Eine nicht widerstreitbare Theorie ist nicht wissenschaftlich.
- Theorien sind nur falsifizierbar, niemals verifizierbar

# Einführung

## Modellbildung 2

---

### □ Steven Hawking

- Vertritt einen „Modell-abhängigen“ Realismus
  - Das Gehirn interpretiert die von den Sinnesorganen empfangenen Daten durch Modellbildung.
  - „Erfolgreiche“ Modelle – diese erklären Ereignisse – halten wir für wahr.
- „Gutes“ Modell
  - Ist „elegant“
  - Enthält wenig willkürliche oder anpassbare Elemente
  - Stimmt mit allen existierenden Beobachtungen überein und erklärt diese.
  - Macht genaue Vorhersagen über künftige Beobachtungen, die das Modell falsifizieren können, wenn sie nicht zutreffen.

# Religionen und Schöpfungsmythen

---

## Religion

- 1. Deutungsversuch, damit auch Modellbildung
  - Popper: „... alle Zivilisationen, die wir kennen, haben versucht, die Welt, in der wir leben, zu verstehen. ...“.

## Schöpfungsmythen

- Mythos bedeutet „Wort“ bzw. „Geschichte mit einer höheren Wirklichkeit“ (Ulrich Mann)
- Arten
  - Weltelternmythos
  - Heiliger Streit
  - Gottesopfer
  - Urmuttermythos
  - Selbstentstehungsmythos

## Eingottglaube

---

# Naturwissenschaftliche Entwicklung

## Der Ursprung in Griechenland 1: Milet

---

### □ Bedeutung

#### ■ Bertrand Russel:

- *„Was sie (die Griechen der Antike) leisteten, ist ganz einfach einzigartig: Sie erfanden die Mathematik, die Naturwissenschaft und die Philosophie“.*

### □ Milesische Schule

- Versuch, Urprinzipien zu finden und Beobachtungen wissenschaftlich zu erhärten
- Wichtige Vertreter
  - Thales
  - Anaximander
  - Anaximenes



# Naturwissenschaftliche Entwicklung

## Der Ursprung in Griechenland 2: Milet

---

### □ Thales

#### ■ Daten:

- Ca. 624 - 547 v. Chr. in Milet

#### ■ Hauptthesen

- Alles ist aus Wasser entstanden
- Die Erde ruht auf Wasser
- Aus dem Nichts kann nicht etwas entstehen; etwas kann nicht zu Nichts werden.
- Hypothesen sollten empirisch überprüft werden
- sagt Sonnenfinsternis von 585 v. Chr. voraus

# Naturwissenschaftliche Entwicklung

## Der Ursprung in Griechenland 3: Milet

---

### □ Anaximander

#### ■ Daten

- Zeitgenosse von Thales, ca. 610 – 540 v. Chr.

#### ■ Hauptthesen

- Eine Ursubstanz (Απειρον) ist die Quelle aller Dinge
- Diese Substanz ist räumlich und zeitlich unbegrenzt über alle existierenden Welten
- Unsere Welt ist eine von vielen Welten.
- Die Welten gehen wieder in die Ursubstanz zurück.
- Die Erde schwebt frei im Raum, sie war flüssig und wurde durch Austrocknung fest.
- Die Gestirne entstanden aus einem Feuerkreis, der um die Erde rotierte und zersprang.

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 4: Milet

---

## □ Anaximenes

### ■ Daten

- 585 – 528 v. Chr.

### ■ Hauptthesen

- Luft (auch in der Bedeutung „Seele“) ist die Ursubstanz.
- Feuer ist verdünnte Luft
- Je nach Verdichtungsgrad wird aus Luft Wasser, Erde oder Stein.
- Es gibt einen Wechsel von Weltentstehung und Zerstörung
- Die Erde besitzt Kugelgestalt. Dies folgt aus dem gekrümmten Erdschatten bei einer Mondesfinsternis.
- Der Begriff „Fixstern“ soll auf ihn zurückgehen. (Der Himmel ist ein Gewölbe, an dem die Sterne befestigt sind.)

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 5

---

## □ Pythagoras

### ■ Daten:

- Von 570 (Samos) – 510 (Metapont) v. Chr.

### ■ Naturwissenschaftliche Hauptthesen

- **Urgesetz**, das mit unveränderlichen zahlenmäßigen Gesetzen die Beziehungen zwischen den Bestandteilen der Welt erklärt.
- Eingang der **Mathematik** in die Naturwissenschaften
- Beschäftigung mit Musik und Erklärung der Tonhöhe.  
→ Sphärenklänge auch in der Astronomie.
- Es gibt einen Wechsel von Weltentstehung und Zerstörung

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 6

---

## □ Heraklit

### ■ Daten

- Von ca. 520 – 460 v. Chr., Ephesus

### ■ Hauptgedanken

- *Alles fließt, nichts besteht.* (πάντα ῥεῖ) Damit ist auch der Gedanke der Zeit zentral.
- Die Ursubstanz ist das Feuer, das aufbrennt und wieder verlischt.
- These und Antithese beherrschen die Welt, die Entwicklung ist ein polares Spiel gegensätzlicher Kräfte.
- *Der Krieg ist der Vater aller Dinge.*

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 7

---

## □ Empedokles

### ■ Daten

- Um ca. 490 v. Chr. in Sizilien geboren

### ■ Hauptgedanken

- 4 Grundelemente Feuer, Wasser, Luft und Erde.
- Wandel ist durch eine Auseinandersetzung von Liebe und Hass begründet.
- Vorläufer der Ideen von Charles Darwin („*Die Entwicklung der Arten*“)

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 8

---

## □ Leukipp

### ■ Daten

- 5. Jhdt. v. Chr.

### ■ Hauptgedanken

- *Kein Ding entsteht planlos, sondern aus Sinn und Notwendigkeit.* (Gilt als die 1. Formulierung des **Kausalgesetzes**, eines der Grundlagen des naturwissenschaftlichen Denkens)

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 9

---

## □ Demokrit

### ■ Daten

- Von ca. 470 – 360 v. Chr, Schüler des Leukipp.

### ■ Hauptgedanken

- Die Welt besteht aus dem Seienden, einem raumerfüllenden Vollen, und dem nicht-seienden Leeren, dem Raum.
- Entwicklung des **Atomismus** gemeinsam mit Leukipp.  
*„In Wirklichkeit gibt es nur Atome (kleinste, unteilbare Einheiten) im Raum.“* Die Atome unterscheiden sich nur in der Gestalt (regelmäßige Körper: Kugel, Zylinder, Pyramide, Würfel).
- Körper unterscheiden sich in Gestalt, Ordnung und Lage ihrer Elemente. Deren Größe entspricht in ihrer Menge und Schwere dem Vielfachen der Menge und Schwere der Atome.
- Atome bewegen sich nach dem Gesetz der Schwere seit Ewigkeit im unendlichen Raum.
- Welten entstehen so und vergehen wieder, es gibt keinen planenden und lenkenden Geist.



# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 10

---

## □ Platon

### ■ Daten

- Ca. 428 – 348 v. Chr. in Athen, Schüler des Sokrates.

### ■ Hauptgedanken

- **Höhlengleichnis:** (Schrift *Politeia*): Alle wahrnehmbaren Dinge sind unvollkommene Abbilder von Ideen, die nur dem reinen Denken zugänglich sind. Die Naturwissenschaft gibt keine Gewissheit, sondern nur Wahrscheinlichkeit.
- Die Schrift *Timaios* behandelt die Entwicklung der Natur.
  - Gott kann nicht mit zeitlichen Begriffen beschrieben werden.
  - Gott hat bereits vorhandenen Stoff neu geordnet.
  - Zeit und Himmel sind gleichzeitig entstanden.
  - Die Welt ist vollkommen, ohne Alterungsprozess.
- Im *Theaitetos* beschreibt er die platonischen Körper Tetraeder, Würfel, Oktaeder, Dodekaeder und Ikosaeder.

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 11

---

## □ Aristoteles

### ■ Daten

- 384 – 322 v.Chr. in Athen, Schüler und Gegner von Platon, Lehrer von Alexander dem Großen.

### ■ Hauptgedanken zu den Naturwissenschaften 1

#### □ Untersuchungen zur Logik:

- **Begriff:** Basis des Denkens, muss definiert werden.
- **Definition:** enthält trennende, unterscheidende und verbindende Merkmale
- **Kategorie:** Zusammenfassung von Gemeinsamkeiten. Die wichtigsten sind Substanz, Quantität, Qualität und Relation.
- **Urteile (Sätze):** Durch Begriffe verbunden. Das Subjekt ist der Begriff, das Prädikat die Aussage über das Subjekt.
- **Schluss:** Ableitung eines Urteils aus anderen Urteilen mit Prämissen und Schlussfolgerungen.
- **Beweise:** Zwingende Herleitungen von Sätzen aus anderen Sätzen mithilfe von Schlüssen.
- **Induktion:** Schluss vom Einzelnen zum Allgemeinen.

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 12

---

## □ Aristoteles

### ■ Hauptgedanken zu den Naturwissenschaften 2

#### □ Naturphilosophie:

- Feuer, Wasser, Luft und Erde als Grundbausteine.
- Der **Äther** des Himmels ist masselos, ewig und in kreisförmiger Bewegung begriffen.
- Die Natur ist zweckmäßig und nicht durch Zufall erklärbar.
- Leerer Raum ist nicht vorstellbar („*horror vacui*“).

#### □ Naturbeobachter

- Das Experiment ist ihm fremd (auch aufgrund noch fehlender Methoden von Messungen).

### ■ Auswirkungen

- Nicht anzweifelbare Autorität („*Aristoteles dixit*“).

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Der Ursprung in Griechenland 13

---

## □ Aristarchos von Samos

### ■ Daten

- 310 – 230 v.Chr.

### ■ Hauptgedanken

#### □ Heliozentrisches System:

- *„Im Zentrum ist Feuer und die Erde ist einer der Sterne und erzeugt Nacht und Tag, indem sie sich kreisförmig um das Zentrum bewegt“.*

## □ Claudius Ptolemäus

### ■ Daten

- 100 – 160 n.Chr. in Ägypten

### ■ Hauptgedanken

#### □ Geozentrisches System:

- Vollkommene Kreisbahnen und Epizyklen (Kreise mit Mittelpunkten auf Kreisen)

# Naturwissenschaftliche Entwicklung

## Zusammenfassung griechischer Philosophie

---

- Heute noch relevante Fragestellungen
  - Ein Universum oder Parallelwelten?
  - Unsichtbare Materie?
  - Ist Raum endlich / unendlich? Bei endlichem Raum: Was liegt jenseits dieser Grenze?
  - Existiert Raum alleine oder nur im Zusammenhang mit Materie?
  - Besitzt das Universum einen Beginn / ein Ende in der Zeit? Was ist vorher, was kommt nachher?

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Spätantike und Mittelalter 1

---

- Geprägt durch religiöse und moralische Fragestellungen
- Aristoteles als letzte Autorität
- Wichtige Philosophen
  - Augustinus von Hippo
  - Roger Bacon
  - Nikolaus Cusanus

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Spätantike und Mittelalter 2

---

## □ Augustinus von Hippo

### ■ Daten

- 354 – 430 n.Chr. in Algerien, „Kirchenvater“

### ■ Hauptgedanken zu den Naturwissenschaften

- Die **Zeit** ist vom menschlichen Bewusstsein nicht zu trennen. Zeit gibt es nur zusammen mit Veränderung.
- **Zeit und Raum sind nur gemeinsam denkbar!**
- Es gibt nur die Gegenwart, das Jetzt.
- Die Vergangenheit besteht in der Erinnerung.
- Die Zukunft beschreibt unsere Erwartungen.
- Nur vor Gottes Auge ist alles gleich gegenwärtig.
- *„Was ist also Zeit? Solange mich niemand danach fragt, ist mir's, als wüßt' ich's; doch fragt man mich und soll ich es erklären, so weiß ich's nicht.“*

# Naturwissenschaftliche Entwicklung Spätantike und Mittelalter 3

---

## □ Roger Bacon

### ■ Daten

- 1214 – ca. 1292, englischer Franziskaner, von der Kirche unter Hausarrest gestellt.

### ■ Hauptgedanke:

- 4 Hindernisse auf dem Weg zur naturwissenschaftlichen Erkenntnis:
  - Respekt vor Autoritäten
  - Gewohnheit
  - Abhängigkeit von gängigen Meinungen
  - Unbelehrbarkeit
- Eintreten für empirische Methoden (Experimente)
- Arbeiten zur Mathematik, Astronomie, Optik.



# Naturwissenschaftliche Entwicklung Spätantike und Mittelalter 4

---

## □ Nikolaus Cusanus

### ■ Daten

- 1401 in Kues an der Mosel geboren, 1464 in Umbrien gestorben

### ■ Hauptgedanken

- Die Welt ist von Gott nicht planlos geschaffen, sondern unter Zugrundelegung mathematischer Prinzipien, die man erkennen müsse.
- Vorreiter einer experimentellen, aber mathematisch begründeten Physik (mit Untersuchungen zur Waage).

# Renaissance 1

## Anmerkungen

---

### Begriff

- Der Begriff Renaissance stammt aus dem 19. Jhd. und beschreibt die „*Wiedergeburt*“ der kulturellen Leistungen der Antike.
- Kunst, Kultur und Philosophie erleben eine Aufschwung.
- Wichtige Personen der Naturwissenschaften mit Geduld und Mut zu neuen Hypothesen
  - Nikolaus Kopernikus
  - Johannes Kepler
  - Giordano Bruno
  - Francis Bacon
  - Galileo Galilei

# Renaissance 2

---

## □ Nikolaus Kopernikus

### ■ Daten

- 1473 – 1543, Krakau
- Geistlicher, Astronom, Arzt und Ökonom (Entwickler einer Geldtheorie)

### ■ Hauptgedanken

- In **De Revolutionibus Orbium Coelestium** (erst posthum veröffentlicht) unterstützt er das heliozentrische System mit kreisförmigen Bahnen, die Erde dreht sich um die eigene Achse. Erklärt auch die Präzession des Frühlingspunktes. Fixsterne sind viel weiter entfernt als die Planeten (Parallaxe noch nicht messbar).
- Als Priester wagte er aber nicht, der vorherrschenden christlichen Anschauung des geozentrischen Weltbildes zu widersprechen.

# Renaissance 3

---

- Zitat
- *„Die erste und oberste von allen Sphären ist die der Fixsterne, die sich selbst und alles andere enthält [...]. Es folgt als erster Planet Saturn, der in dreißig Jahren seinen Umlauf vollendet. Hierauf Jupiter mit seinem zwölfjährigen Umlauf. Dann Mars, der in zwei Jahren seine Bahn durchläuft. Den vierten Platz in der Reihe nimmt der jährliche Kreislauf ein, in dem, wie wir gesagt haben, die Erde mit der Mondbahn als Enzykel enthalten ist. An fünfter Stelle kreist Venus in neun Monaten. Die sechste Stelle schließlich nimmt Merkur ein, der in einem Zeitraum von achtzig Tagen seinen Umlauf vollendet. In der Mitte von allen aber hat die Sonne ihren Sitz.“*

# Renaissance 4

---

## □ Johannes Kepler

### ■ Daten

- Geb. 1571 in Weil der Stadt, gestorben 1630 in Regensburg
- Evangelischer Theologe, Astronom, Mathematiker und Optiker

### ■ Hauptgedanken

- Basis sind die Daten des dänischen Astronomen Tycho Brahe.
- Kepler-Gesetze (Herleitbar aus den Newton'schen Gesetzen der Mechanik)
  - Elliptische Bahnen (Aufgabe der idealisierten Kreisbahnen)
  - Strahl zwischen Sonne und Planet überstreicht in gleichen Zeiträumen gleiche Flächen.
  - Quadrat der Umlaufszeit proportional zur 3. Potenz der großen Halbachse.

# Renaissance 5

---

## □ Giordano Bruno

### ■ Daten

- Geb. 1548, hingerichtet am Scheiterhaufen 1600 in Florenz, katholischer Geistlicher

### ■ Hauptgedanken

- Unterstützer des heliozentrischen Systems
- Ewiges, unendliches Universum ohne Mittelpunkt, die Sterne sind in ständiger Bewegung
- Es gibt keine Schöpfung und auch kein Jüngstes Gericht.

# Renaissance 6

---

## □ Francis Bacon

### ■ Daten

- 1561 – 1626, reicher Engländer, sehr zwiespältige Figur, Abgeordneter, Generalstaatsanwalt (und Folterer), Lordkanzler

### ■ Hauptgedanken

- Die Naturwissenschaften haben den Zweck, **die Natur im Interesse des Fortschrittes zu beherrschen.**
- Die Natur wird besiegt, indem man ihr gehorcht.
- Wirkliche Erkenntnis ist eine reale Abbildung der Natur.
- Zitat: *„Der Mensch, als Diener und Erklärer der Natur, wirkt und weiß nur so viel, als er von der Ordnung der Natur durch die Sache oder seinen Geist beobachtet hat; mehr weiß und vermag er nicht.“*

# Renaissance 7

---

## □ Galileo Galilei

### ■ Daten

- 1564 – 1642, Italiener, Philosoph, Mathematiker, Physiker, Astronom, Experimentator

### ■ Hauptuntersuchungsgebiete

- Mechanik: Beschleunigung, Trägheitsgesetz, freier Fall, Unterstützer des heliozentrischen Weltbildes („*Und sie bewegt sich doch!*“)
- Nutzt das von Jan Lippershey erfundene Fernrohr: Jupitermonde, Mondkrater, Sonnenflecken, die Milchstraße ist eine Anhäufung von Sternen.
- **Verbindung von Experiment, Messung und mathematischen Methoden**



# Renaissance 8

---

## □ Galileo Galilei

### ■ Zitat:

- *„Das große Buch der Natur liegt aufgeschlagen vor uns. Um es lesen zu können, bedürfen wir der Mathematik, denn es ist in mathematischer Sprache geschrieben. Die Naturvorgänge sind quantitativ und damit messbar, wo das nicht ohne weiteres der Fall ist, muss die Wissenschaft die Anordnung des Experiments so treffen, dass sie messbar gemacht wird.“*

### ■ Bedeutung

- Galilei markiert den Zeitpunkt der Trennung der Philosophie, die nach dem Wesen und dem Warum der Dinge fragt, von den beschreibenden Naturwissenschaften.

# Renaissance 9

---

- Spätere, gegensätzliche Ansichten zu den Naturgesetzen
  - Kant:
    - Unser Intellekt leitet die Naturgesetze nicht von der Natur ab, sondern drückt diese Gesetze der Natur auf.
  - Karl Popper
    - Unser Intellekt leitet die Naturgesetze nicht von der Natur ab, sondern versucht – mit wechselndem Erfolg – der Natur die Gesetze aufzudrücken, die frei erfunden sind.

# Naturwissenschaftliches Zeitalter 1

---

## □ René Descartes

### ■ Daten

- Geb. 1596 in Frankreich, gest. 1650 in Stockholm, Philosoph, Mathematiker, Naturwissenschaftler

### ■ Hauptuntersuchungsgebiete

- Mathematik: Analytische Geometrie -> Koordinatensystem
- Physik: Erkennt das 1. Bewegungsgesetz. Allerdings werden Bewegungsänderungen durch Stöße hervorgerufen. (→ Kräfte durch Kräfteaustausch-Teilchen: Bosonen)
- Alle Vorgänge sind rein mechanischer Natur.
- Astronomie: Planetenbahnen sind aufgrund von Wirbeln rund um die Sonne zu erklären.

# Naturwissenschaftliches Zeitalter 2

---

## □ Isaac Newton

### ■ Daten

- 1642 - 1727, Naturwissenschaftler, Verwaltungsbeamter (Master der Royal Mint), Präsident der Royal Society, Lucasian Professor in Cambridge

### ■ Hauptuntersuchungsgebiete 1

- *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica:*
  - Gravitationsgesetz
  - Bewegungsgesetze (Kraft als Ursache von Bewegung bzw. Bewegungsänderung, Kräfte wirken augenblicklich in unendlicher Entfernung)
  - Ein absoluter Raum und eine absolute Zeit existieren unabhängig von Materie
  - Gott als Urheber des Gravitationsgesetzes und der Bahnen der Himmelskörper. Nach der Schöpfung aber keine göttliche Intervention! Völlig determinierter Weltenlauf!
- Entwickler der Infinitesimalrechnung, des Spiegelteleskops

# Naturwissenschaftliches Zeitalter 3

---

## □ Isaac Newton

### ■ Hauptuntersuchungsgebiete 2

#### □ *Hypothesis of Light:*

- Konzept des Äthers
- Korpuskeltheorie des Lichts

#### □ Berechnung des Zeitpunktes der Erschaffung der Welt: 3470 v. Chr. (-> irischer Theologe James Ussher datiert das Ereignis mit 23.10.4004 v. Chr.)

### ■ Nicht realisierte Grabinschrift (begraben in der Westminster Abbey)

#### □ „Nature and Natur`s laws lay hid in Night: God said, *Let Newton be!* and all was Light.“

# Naturwissenschaftliches Zeitalter 4

---

## □ Gottfried Wilhelm Leibniz

### ■ Daten

- Geb. 1646 in Leipzig, gest. 1716 in Hannover, Universalgelehrter, Philosoph, Mathematiker, Diplomat, politischer Berater, Vordenker der Aufklärung.

### ■ Hauptuntersuchungsgebiete

- Infinitesimalrechnung
- Rechenmaschine mit den 4 Grundrechnungsarten
- Beschäftigung mit dem Dualsystem
- Die Welt ist die beste aller möglichen Welten (zumindest das Entwicklungspotential)
- Gott kann keine logischen Wahrheiten schaffen oder ändern.
- Mathematische Sätze existieren unabhängig von Gott.

# Naturwissenschaftliches Zeitalter 5

---

## □ Pierre-Simon Laplace

### ■ Daten

- 1749 – 1827, Franzose, Mathematiker (Schüler von D'Alembert)

### ■ Hauptuntersuchungsgebiete

- Differentialgleichungen
- Wahrscheinlichkeitstheorie
- Himmelsmechanik (*Traité de mécanique Céleste*)
  - Beweis für die Stabilität der Planetenbahnen
  - 3-Körper-Problem
  - Postuliert „schwarze Löcher“
  - Nebularhypothese der Entwicklung des Sonnensystems (gemeinsam mit Kant)
- Vertreter des vollkommenen Determinismus.
- Ein Gott ist nicht notwendig (*Exposition du Système du monde*)

# Die Moderne 1

---

## □ Einführung

- Zeitraum ab ca. 1850
- Philipp von Jolly, Münchner Physikprofessor, kommentiert 1874 den Wunsch von Max Planck, Physik zu studieren, so: *„In dieser Wissenschaft sei schon fast alles erforscht, und es gelte, nur noch einige unbedeutende Lücken zu schließen“*.
- Enormer Fortschritt des physikalischen Wissens
  - Thermodynamik
  - Quantenmechanik
  - Relativitätstheorie



# Die Moderne 2

## Thermodynamik 1

---

### □ 4 Hauptsätze

- 0. Hauptsatz: Gesetz des thermischen Gleichgewichts
- 1. Hauptsatz: Energieerhaltungssatz (1. Fassung durch den Arzt Julius Robert Mayer 1841).
- 2. Hauptsatz: Entropie: Die Gesamtentropie in einem isolierten System kann nie kleiner werden.  
→ Richtung der Zeit, Erfahrungstatsache
- 3. Hauptsatz: Temperatur eines Systems kann durch keinen Prozess auf den absoluten Nullpunkt gesenkt werden (Walter Nernst, 1906)

# Die Moderne 3

## Thermodynamik 2

---

### □ Ludwig Boltzmann

#### ■ Daten

- 1844 - 1906, Österreicher

#### ■ Hauptuntersuchungsgebiete

- Kinetische Gastheorie
- Entropie und Wahrscheinlichkeit
- Stefan-Boltzmann-Gesetz (mit Josef Stefan):  
Schwarzer Körper (idealisiertes Körper mit maximalem Absorptionsgrad) gibt Strahlungsleistung proportional der Fläche und der 4. Potenz der Temperatur ab. (Auch aus dem Planck'schen Strahlungsgesetz ableitbar). Die Sonne ist ein schwarzer Körper mit einer Temperatur von 5777 K.

# Die Moderne 4

## Quantenmechanik 1

---

### □ Ausgangsproblem

- Nach den Gesetzen der klassischen Physik (Maxwell-Gleichungen) sollte ein schwarzer Körper ein kontinuierliches Spektrum ausstrahlen. Dabei würde aber unendlich viel Energie abgegeben.

### □ Quanten

- **Max Planck** (1858 – 1947): Lichtenergie nur in diskreten Werten emittiert. → Begründer der Quantenmechanik, 1921 Nobelpreis
- **Albert Einstein**: → photoelektrischer Effekt, Nobelpreis 1918

# Die Moderne 6

## Quantenmechanik 2

---

- **Niels Bohr (1885 – 1962):**
  - **Atommodell** des Wasserstoffs und Erklärung seiner Spektrallinien, 1922 Nobelpreis
  - **Dualismus von Welle und Teilchen:** Widerspruch zur Aristotelischen Logik: A oder Nicht-A
  - **Kopenhagener Deutung** der Quantenmechanik: Die Eigenschaften der Dinge entstehen erst durch deren Beobachtung.

# Die Moderne 7

## Quantenmechanik 3

---

- **Werner Heisenberg (1901 – 1976):**
  - **Unschärferelation:** gleichzeitige Messung Impuls/Ort oder Zeit/Energie nicht möglich → Widerspruch zur klassischen Physik. Grund liegt darin, dass bei Messung immer Energie ausgetauscht wird zwischen Messobjekt und Messgerät. Das ist bei Quantensystemen nicht vernachlässigbar.  
1932 Nobelpreis
  - **Wahrscheinlichkeit** als zentraler Begriff
  - **Abkehr vom Kausalitätsprinzip:** Es gibt keine versteckten Variablen

# Die Moderne 8

## Quantenmechanik 4

---

### □ Diskussion:

- **Einstein:** „*Gott würfelt nicht!*“
- **EPR-Gedankenexperiment:** 1931 von (Albert) Einstein, (Boris) Podolsky und (Nathan) Rosen aufgestellt: Quantensystem sei unvollständig.
- Man nehme ein Quantensystem, splitte es in genau 2 Teile A und B auf und lasse die beiden Hälften in genau entgegengesetzter Richtung bis an die Grenzen des Universums fliegen. Messungen am Teilsystem A können dann keinerlei Einfluss auf das weit entfernte Teilsystem B haben. Aber aufgrund von Symmetriegesetzen kann man einige der Eigenschaften des Teilsystems B ableiten (z.B. Spin oder Geschwindigkeit), ohne B jemals beobachten zu müssen. (Verschränkter Zustand)

# Die Moderne 9

## Relativitätstheorie 1

---

### □ Albert Einstein

#### ■ Daten

- Geb. 1879 in Ulm, gest. 1955 in Princeton, theoretischer Physiker, später Pazifist

#### ■ Hauptuntersuchungsgebiete

- Photoelektrischer Effekt: 1905 → 1922 Nobelpreis
- Brownsche Molekularbewegung: 1905 in „*Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*“
- Relativitätstheorie
  - Spezielle Relativitätstheorie: 1905 in „*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*“
  - Allgemeine Relativitätstheorie: 1915

# Die Moderne 10

## Relativitätstheorie 2

---

### □ Spezielle Relativitätstheorie 1

#### ■ Klassische Physik

- In jedem Inertialsystem gelten die Gesetze der klassischen Newtonschen Mechanik. Umrechnung zwischen Inertialsystemen durch die Galileitransformationen mit 3-dimensionalem Raum und davon unabhängiger Zeit.
- Unter der Galileitransformation ändern sich aber die Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik. Die Lichtgeschwindigkeit wäre vom Bezugssystem abhängig. Das Michelson-Morley-Experiment zeigt aber, dass es kein derartiges Bezugssystem (Äther) gibt.



# Die Moderne 11

## Relativitätstheorie 3

---

### □ Spezielle Relativitätstheorie 2

#### ■ Lorentz-Transformation

- Maxwell-Gleichungen bleiben unverändert → gemeinsame Veränderung von Zeit und Raum.

#### ■ Aussagen der speziellen Relativitätstheorie

- **Gleichzeitigkeit**: 2 Ereignisse sind nur dann gleichzeitig, wenn ein Beobachter von diesen beiden Ereignissen gleich weit entfernt ist.
- **Lorentz-Kontraktion**: Längen verkürzen sich in Bewegungsrichtung.
- **Zeitdilatation**: Zeit vergeht in allen relativ bewegten Systemen langsamer als im jeweiligen Ruhesystem.
- **Relativistische Geschwindigkeitsaddition**: Die Lichtgeschwindigkeit  $c$  kann durch Addition nicht überschritten werden.
- $E(\text{Ruhe}) = mc^2$

# Die Moderne 12

## Relativitätstheorie 4

---

### □ Spezielle Relativitätstheorie 3

#### ■ Experimente

- Erhöhung der Lebensdauern von instabilen Elementarteilchen in Beschleunigern.
- Vergleich von Atomuhren
- GPS-Systeme
- Fission- und Fusions-Bombe
- Für kleine Geschwindigkeiten geht die spezielle Relativitätstheorie in die klassische Physik über.

#### ■ Hermann Minkowski:

- *„Von jetzt an sind Raum und Zeit einzeln selbst dazu verdammt, im Schatten zu verschwimmen, und nur eine Art Verbindung dieser beiden wird eine unabhängige Realität darstellen.“*

# Die Moderne 13

## Relativitätstheorie 5

---

### □ Allgemeine Relativitätstheorie 1

- Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Materie und Raum und Zeit.
- Gravitation ist eine geometrische Eigenschaft einer gekrümmten vierdimensionalen Raum-Zeit.
- Die Gesetze der Relativitätstheorie sind völlig unabhängig vom Zustand des Beobachters.

# Die Moderne 14

## Relativitätstheorie 6

---

### □ Allgemeine Relativitätstheorie 2

#### ■ Wesentliche Konsequenzen:

- Gravitative Zeitdilatation und Rotverschiebung
- Lichtablenkung und Lichtverzögerung
- Periheldrehung des Merkur
- Gravitationswellen
- Schwarze Löcher
- Lense-Thirring-Effekt: Rotierende Masse verändert die diese umgebende Raum-Zeit

#### ■ Gute experimentelle Bestätigung.

#### ■ Aber: Widersprüche mit der Quantenmechanik bei hohen Teilchenenergien oder kleinen Raum-Zeit-Gebieten!

# Kosmologie 1

---

## □ Wesentliche Annahmen

- Kosmologisches Prinzip
  - Kosmos ist isotrop und homogen
- Geltung der allgemeinen Relativitätstheorie

## □ Wesentliche Beobachtungen

- Hubble-Expansion
- Kosmische Hintergrundstrahlung
- Entstehung der ersten Elemente

# Kosmologie 2

---

## □ Ausdehnung des Universums

- Die zeitabhängige Hubble-Konstante beschreibt die Ausdehnung des Weltalls
  - Vesto Slipher: 1917 Basisuntersuchungen
  - George Lemaître: postuliert Ausdehnung bereits 1927
  - Edwin Hubble: 1889 – 1953, Untersuchung der Bewegungen der Galaxien

## □ Konsequenzen

- Alter des Universums ca. 13.7 Mrd. Jahre
- Mittlere Dichte: 1 Nukleon / m<sup>3</sup>

# Kosmologie 3

---

- Kosmische Hintergrundstrahlung (CMB: Cosmic Microwave Background)
  - Rest des Urknalls
    - Vorhersage von George Gamow und Robert Dyke
    - Beobachtung von Arno Penzias und Robert Wilson 1964
  - Ergebnisse
    - CMB: sehr isotrop, Temperatur eines schwarzen Körpers von 2,73 K, aber sehr kleine Abweichungen von der Isotropie lassen auf kleinste Dichteschwankungen um 400000 Jahre nach dem Urknall schließen, erklären Verteilung der Galaxien
- Primordiale Nukleosynthese
  - 3 – 5 Minuten nach Urknall: H, D, T, He, Be, Li

# Kosmologie 4

## Zeittafel 1

Zeit	Phase	Erklärung / Probleme
0 s	Urknall	Beginn? Singularität → Stringtheorie? Brane-Theorie?
$10^{-43}$ s	Planck-Zeit	Kleinste sinnvolle Zeiteinheit → Planck-Länge ( $10^{-35}$ m). Gibt es sinnvolles kontinuierliches „Davor“?
$10^{-33}$ s	Inflation	Ausdehnung um $10^{40}$
$< 10^{-12}$ s	Ursuppe	$> 10^{15}$ K, unbekannte, sehr schwere Elementarteilchen? Ungleichgewicht Materie / Antimaterie
$10^{-6}$ s	Protonen / Neutronen	$10^{12}$ K, Quarks als Bestandteile der Atomkerne
10 s	Leichte Kerne	$10^{10}$ - $10^9$ K, Bildung von H, D, He, Li



# Kosmologie 5

## Zeittafel 2

Zeit	Phase	Erklärung / Probleme
$4 \cdot 10^5$ J	Bildung von Atomen	3000 K, leichte Atome, Universum wird durchsichtig
$10^8$ J	Sterne und Galaxien	30 K, in Sternen Fusion bis C, in Supernovae Fusion aller schwereren Elemente
$10 \cdot 10^9$ J	Entstehung unseres Sonnensystems	6 K
$13,7 \cdot 10^9$ J	Heute	2,73 K

# Kosmologie 6

---

## □ Probleme der Urknalltheorie

- Horizontproblem
  - CMB isotrop, Inflation erklärt diese
- Flaches Universum
  - Stark gekrümmter Raum des Urknalls geht in Inflationsphase in euklidischen Raum über
- Magnetische Monopole
  - Von Dirac vorhergesagt, nie nachgewiesen
- Baryonenasymmetrie:
  - Materie / Antimaterie-Problem: Paralleluniversen aus Antimaterie?
- Dunkle Materie und Dunkle Energie
- Singularität
  - Strings (11 Dimensionen) oder Branes (Membranen?)

# Kosmologie 7

---

## Diskussionsstand

- Big Bang → Big Crunch
  - Eventuell sich immer wiederholend
- Sich immer ausdehnendes und „verdünnendes“  
Universum, darin entsteht wieder ein neues  
Universum
  - z.B. Roger Penrose vertreten
- Paralleluniversen
  - Strings / Branes:  $10^{500}$  bis  $10^{700}$  Paralleluniversen, z.B. von  
Stephen Hawking vertreten

# Fundamentarteilchen 1

---

## □ Grundeigenschaften

- Können erzeugt und vernichtet werden
- Unteilbar, ohne angeregte Zustände
- Identisch (innerhalb der Art)
- Erscheinen punktförmig

## □ Innere Eigenschaften

- Masse / Ruheenergie
- Spin
- Parität:  $>0$  bei Teilchen,  $< 0$  bei Antiteilchen
- Leptonenzahl:  $\pm 1$  bei Leptonen, sonst 0
- Baryonenzahl:  $\pm 1/3$  bei Quarks, sonst 0
- Elektrische, schwache und Farbladung

# Fundamentarteilchen 2

---

- 4 Erhaltungssätze der klassischen Physik gelten
  - Energie-Erhaltungssatz
  - Impuls-Erhaltungssatz
  - Drehimpuls-Erhaltungssatz
  - Erhaltung der elektrischen Ladung
- Die Spiegel-Symmetrien der klassischen Physik sind gebrochen
  - Raum, Zeit, Ladungsvorzeichen
  - Schwache Wechselwirkung: alle 3 Symmetrien gebrochen
  - Gleichzeitige Anwendung:  
Vertauschung Teilchen - Antiteilchen

# Fundamentarteilchen 3

## Tabelle

Beobachtung	Quarks	Leptonen
1. Generation	Up	Elektron-Neutrino
	Down	Elektron
2. Generation	Charm	Myon-Neutrino
	Strange	Myon
3. Generation	Top	Tau-Neutrino
	Bottom	Tauon
Bosonen: Träger von Austauschkräften	Photon: elektromagnetische WW	Gluon: starke WW
	Z-Boson: schwache WW	W-Boson: schwache WW
Higgs-Boson	Erklärt Masse und ev. Schwerkraft	

# Fundamentaltelchen 5

---

## □ Quarks

- Von Murray Gell-Man 1964 vorgeschlagen
- Bestandteile der Hadronen (unterliegen allen 4 Grundkräften)
- Namen der Quarks willkürlich
- Keine freien Quarks gemessen
- Zu jedem Quark Antiteilchen mit entgegengesetzter elektrischer Ladung
- Ladungen
  - Farbladung: rot, grün, blau, antirot, antigrün, antiblau  
nur „farblose“ Kombinationen existieren als zusammengesetzte Teilchen isoliert.
  - Elektrische Ladung:  $-1/3$  oder  $+2/3$  der Elementarladung.  
Zusammengesetzte Teilchen haben immer ganzzahlige Ladungen.

# Fundamentarteilchen 6

---

## □ Leptonen

- „leichte“ Teilchen: Myon ist aber „mittelgewichtig“, Tauon hat aber doppelte Protonenmasse.
- Elektron, Myon und Tauon mit negativer Elementarladung
- Neutrinos ungeladen
- Es gibt die entsprechenden Antiteilchen

## □ Bosonen: Austauscheteilchen

- Kräfte wirken durch Austausch von Bosonen



# Fundamentarteilchen 4

---

- 61 Fundamentarteilchen im Standardmodell
  - 36 Quarks ( $6 * 3$  für jede Farbladung \* 2 für Antiteilchen)
  - 12 Leptonen ( $6 * 2$  für Antiteilchen)
  - 12 Austauscheteilchen: für jedes der Paare eines
  - Higgs-Boson (eventuell auch 5 Arten, hier nicht einberechnet!)

# Zusammenfassung: The Blind Men and the Elephant: 1

---

It was six men of Indostan  
To learning much inclined,  
Who went to see the Elephant  
(Though all of them were blind),  
That each by observation  
Might satisfy his mind.

The *First* approached the Elephant,  
And happening to fall  
Against his broad and sturdy side,  
At once began to bawl:  
"God bless me! but the Elephant  
Is very like a WALL!"

# Zusammenfassung:

## The Blind Men and the Elephant: 2

---

The *Second*, feeling of the tusk,  
Cried, "Ho, what have we here,  
So very round and smooth and sharp?  
To me 'tis mighty clear  
This wonder of an Elephant  
Is very like a SPEAR!"

The *Third* approached the animal,  
And happening to take  
The squirming trunk within his hands,  
Thus boldly up and spake:  
"I see," quoth he, "the Elephant  
Is very like a SNAKE!"

# Zusammenfassung:

## The Blind Men and the Elephant: 3

---

The *Fourth* reached out an eager hand,  
And felt about the knee  
"What most this wondrous beast is like  
Is mighty plain," quoth he:  
"'Tis clear enough the Elephant  
Is very like a TREE!"

The *Fifth*, who chanced to touch the ear,  
Said: "E'en the blindest man  
Can tell what this resembles most;  
Deny the fact who can,  
This marvel of an Elephant  
Is very like a FAN!"

# Zusammenfassung: The Blind Men and the Elephant: 4

---

The *Sixth* no sooner had begun  
About the beast to grope,  
Than seizing on the swinging tail  
That fell within his scope,  
"I see," quoth he, "the Elephant  
Is very like a ROPE!"

And so these men of Indostan  
Disputed loud and long,  
Each in his own opinion  
Exceeding stiff and strong,  
Though each was partly in the right,  
And all were in the wrong!

# Literatur

---

- Web-Site: <https://fhastros.wordpress.com/>
- Vortrag
  - Als PowerPoint-Foliensatz
  - Als PDF-Dokument
    - Ausführlicherer Text
    - Detaillierte Literaturangaben

---

**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!**