

# Der Weg der Physik – Die Abenteuer der Forschung

## I. Physikalische Erkenntnis

Was ist Physik?

Gegenstand: Beschäftigung mit den Naturphänomenen

Vorgang: systematische Beobachtung, Aufstellung von Naturgesetze, Aufbau von Theorien

Mittel: Mathematik

Physik fängt mit Beobachtung an und endet mit Beobachtung. Dazwischen liegt Erkenntnis.

Erkenntnis entsteht durch:

Annahmen über den Zusammenhang zwischen den Phänomenen,  
Erkennen/Aufstellen von Naturgesetze,  
Aufbau von Theorien

Die Basis der physikalischen Erkenntnis ist das Ausdrücken dieser Zusammenhänge durch reelle Zahlen als mathematische Relationen.

Beispiel: Anziehung, Coulomb Gesetz, Maxwell Theorie

*Beispiel:* Wir beobachten z.B. dass 2 Ladungen sich anziehen oder abstoßen mit einer Kraft, die von Abstand und Größe der Ladungen abhängt. Das ist empirische Erkenntnis



(durch Beobachtung der Phänomene gewonnen). Wir messen und finden folgende Regelmäßigkeit:

$$\text{Kraft} \propto \frac{\text{Ladung}_1 \cdot \text{Ladung}_2}{(\text{Abstand})^2}, \text{ kurz (und damit übersichtlicher) } K = \text{const} \times \frac{Q_1 Q_2}{D^2} \quad (1)$$

Das ist das empirische Coulomb Gesetz. Aber schon hier sind wir über die reine Beobachtung hinaus gegangen (die nur die Änderung der Lagen betrifft), haben ein neues Konzept, *Kraft*, eingeführt und mit seiner Hilfe eine Gesetzmäßigkeit ausgedrückt. So haben wir einen ersten Schritt in Richtung Verständnis gemacht.

Wurden einmal viele empirische Gesetze gefunden, versucht man sie in einem zusammenhängenden Gesamtschema zu verbinden. So entdeckte z.B. Maxwell im XIX Jahrhundert, dass die empirischen Gesetze der elektrischen und der magnetischen Phänomene in einem wunderschönen mathematischen Schema zusammengefasst werden können, der **Theorie der Elektrodynamik**.

Aber ein solcher Schritt ist eine enorme Leistung. Denn die empirischen Gesetze werden nicht einfach aneinander angereiht, sondern müssen sich in einem exakten *mathematischen Schema* verzahnen. Und dabei werden auch neue Konzepte eingeführt – etwa, die *elektrischen* und *magnetischen Felder* –, es werden neue Beobachtungen vorausgesagt – z.B. die Radiowellen – und weitere Erkenntnisse erzeugt – etwa, dass das Licht selbst eine *elektromagnetische Welle* ist.

## II. Physikalische Theorie

Eine Theorie geht von einem „wie“ zu einem „warum“ (als ein weiterer Schritt).

*Beispiel:* Kepler-sche Gesetze  $\implies$  Newtons Gravitationstheorie

Dafür können Modelle als „Zwischenschritte“ eingesetzt werden

*Beispiel:* Atomspektren (Lyman, Balmer, Paschen)  $\implies$  Bohr Atommodell  $\implies$  QM

Beispiel für eine mögliche Verständnis der physikalischen Theorie und ihres Ziels (*Duhems Ansatz*):

**1. Die einzige Möglichkeit, eine physikalische Theorie selbständig (unabhängig von einer Metaphysik) zu definieren ist, sie als mathematisches Schema, dessen Symbole auf physikalischen Größen hindeuten, zu definieren. Als Validation Kriterium gilt (nebst mathematische Konsistenz) nur die Übereinstimmung mit den Phänomenen.**

2. Die Theorie erlaubt eine

**A: *Ökonomie des Denkens***, die sich in Reduktion in mehrere Schritte ausdrückt (von Beobachtungen zu Gesetze, von Gesetzen zu Theorien (vgl. Cassirer: Massaussagen, Gesetzaussagen, Prinzipienaussagen, allg. Kausal Gesetz).

3. Diese Reduktion ist ein fortschreitendes Prozess (in der Entwicklung der Physik).

4. Eine Theorie ist *nicht nur eine ökonomische Darstellung der Gesetze*, sondern auch eine

**B: *Klassifikation der Regeln und Gesetze***, wodurch diese als Instrumenten geordnet werden.

5. Eine erfolgreiche Theorie schafft Ordnung und erreicht Vollkommenheit, was in uns die Überzeugung erzeugt, dass eine ***naturgemäße Klassifikation*** erzielt wurde und keine künstliche Ordnung.

## 6. Der Ziel einer physikalischen Theorie ist daher

**C: anstatt Erklärung, eine Naturgemäße Klassifikation was suggeriert, dass die logische Ordnung in der Theorie der Reflex einer ontologischen Ordnung ist.** („Übergeordneter Ziel“)

7. Eine gute Theorie macht Aussagen für noch nicht beobachteten Phänomene (Fresnel, S.34). Das ist eine Bestätigung des Charakters als **naturgemäße Klassifikation**, denn einfache Ökonomie des Denkens kann sich nur darauf beziehen, was man beobachtet *hat*.

8. Die Geschichte der Physik zeigt in wesentlichem Kontinuität und Fortschritt, was den *NK*-Charakter bestätigt.

Pierre Duhem: *“.. je mehr [die Theorie] sich vervollkommnet, umso mehr ahnen wir, dass die logische Ordnung, in der sie die Erfahrungstatsachen darstellt, der Reflex einer ontologischen Ordnung sei ...”*

(Ziel und Struktur ..., II.4)

Metaphysische Setzungen koennen **als Hypothesen** hilfreich sein – Atomen, Felder (Faraday).

### III. Physikalische Begriffe: Symbole

Beispiele:

- *Helmholtz-she Ansatz: aus der Natur gelesene Bedeutungen: (Übersetzung)*

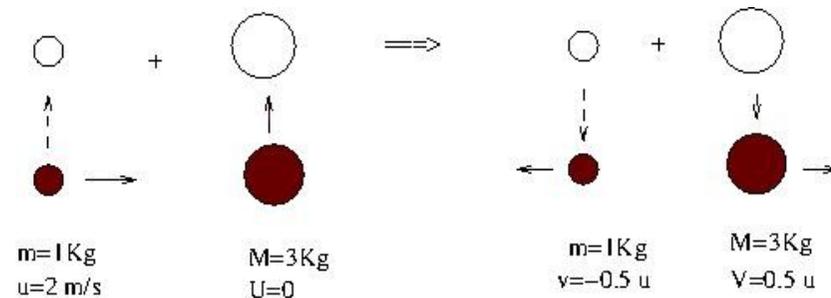
„Die Sinnesempfindungen sind für unser Bewußtsein Zeichen, deren Bedeutung verstehen zu lernen, unserem Verstande überlassen ist“ (Helmholtz 1896).

- *Hertz-she Ansatz: unter Constraints generierte „Bilder“: (Konstruktion)*

„Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die dennotwendigen Folgen der Bilder stets wieder Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände“ (Hertz, 1894).

Beispiel: Stossgesetze

$$m \cdot u + M \cdot U = m \cdot v + M \cdot V \quad (\text{und} \quad m \cdot u^2 + M \cdot U^2 = m \cdot v^2 + M \cdot V^2), \quad U = 0 \quad \implies \quad v = -u \frac{M - m}{M + m}, \quad V = u \frac{2m}{M + m}$$



Was ist der Referent eines physikalischen Symbols?

Die Referenzbeziehung definiert die Gegenstände und ist durch diese wiederum beeinflusst.

- Die „Gegenstände“ sind weder direkte Beobachtungen (Erscheinungen), noch beliebige theoretische Konstruktionen: Sie werden mit Hilfe der Theorie erkannt.
- Sie hängen vom physikalischen Kontext ab: chemische Valenzen entpuppen sich auf einem tieferen Niveau als elektromagnetische Kräfte. Der Stein ist ein Festkörper bei großen, eine Ansammlung von Atome bei kleinen Skalen.
- Sie können von dem Entwicklungsstadium der Theorie abhängen und/oder nur angenähert sein: das Proton der QM ist nicht dasselbe wie das Proton des Standard Modells.

*Beispiel:* Der Referent des Protons ist weder ein Blasenkammerspur, noch ein materieller Punkt: der Gegenstand „Proton“ wird in der Theorie beschrieben, mit der Phänomene in Verbindung gebracht und als eindeutige Grundlage für die Erscheinungen anerkannt.

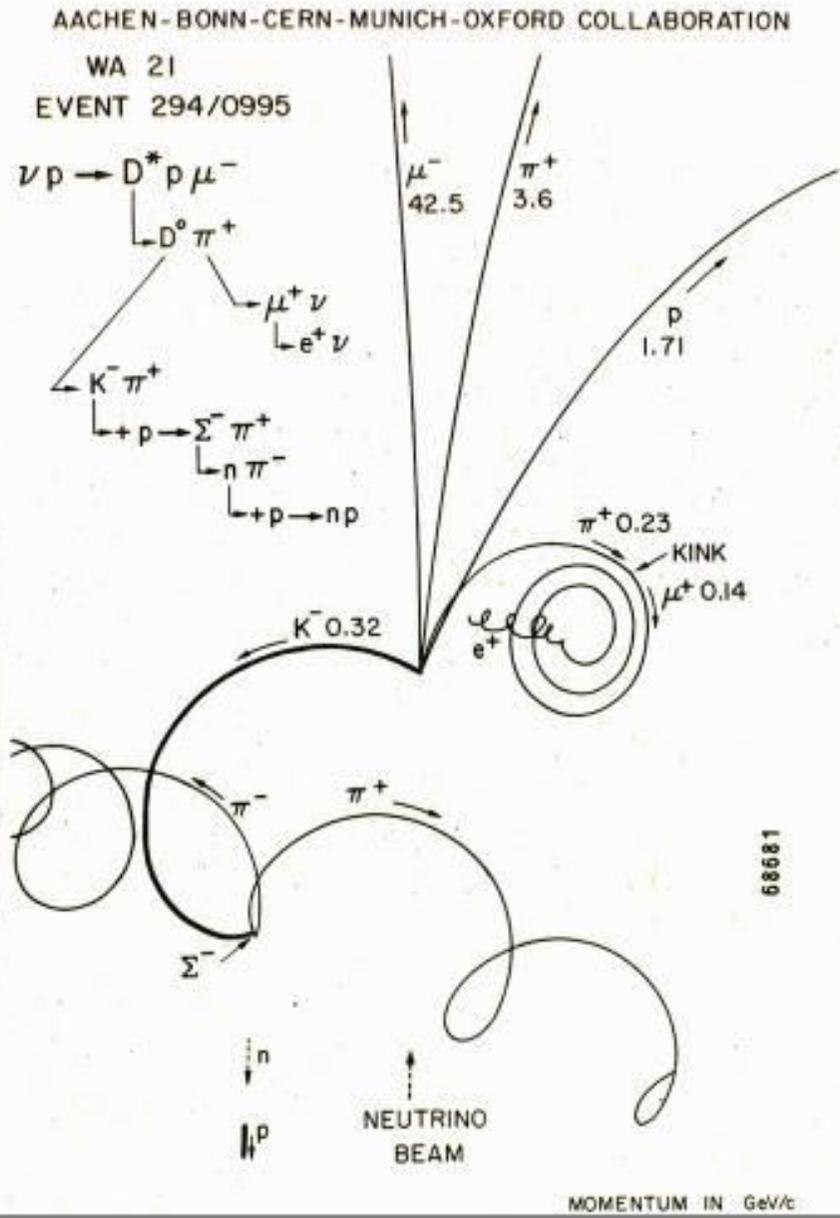
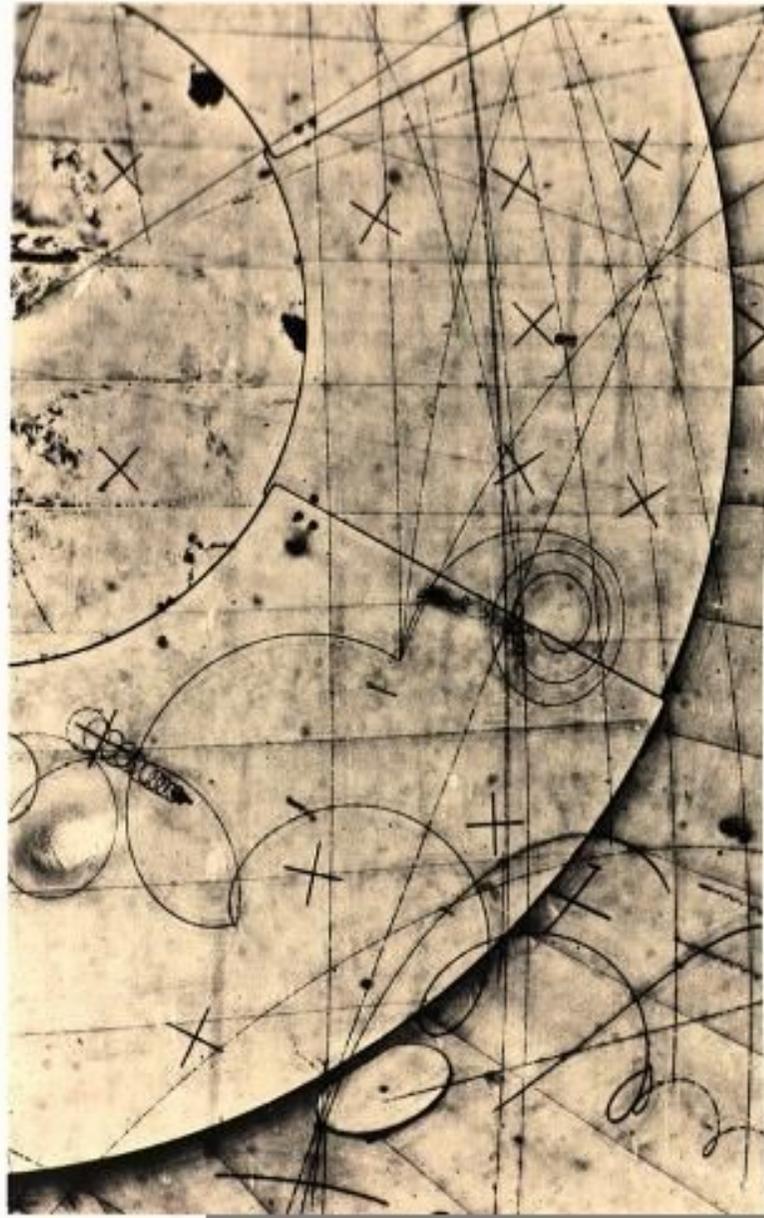
*Beispiel: Symbol Elektron in verschiedenen Theorien:*

*Electron*<sup>ED</sup> : klassische Teilchen, relativistisch, ohne „Spin“, mit undefinierter inneren Struktur, identifizierbar, erhalten.

*Electron*<sup>QM</sup> : quanten „Teilchen“, nicht-relativistisch, mit Spin, punktförmig, erhalten aber nicht identifizierbar.

*Electron*<sup>QED</sup> : quantum Objekt, mit Spin, relativistisch, punktförmig, nicht identifizierbar, nicht erhalten (Annihilation)

Eigentlich sind in QFT nicht die Teilchen die fundamentale „Objekte“ der Theorie, sondern die Felder, mit denen die Grundgleichungen der Theorie geschrieben werden. Die Teilchen sind lokale Realisierungen der Felder.



Man kann diese Beobachtungen zum folgenden **Vorschlag** zusammenfassen:

**Wenn sich konzeptuelle Systeme schließen** (zusammenhängende, erfolgreiche Theorien) **definieren sie Symbole, die bedingte Realitäts-, -Notwendigkeits-, Wahrheitsanspruch haben**

*(relativ, aber zu einer sowohl theoretisch als auch empirisch gut definierten Klasse reproduzierbarer physikalischen Situationen)*

**und die** eine bestimmte Art von Kontinuität erweisen.

**Sie werden in einer strikten mathematischen Schema und Interpretationsschema verbunden.**

**Das ist eine mögliche Perspektive fuer die physikalische Erkenntnis, die einen kritischen Realismus zulaesst.**

## IV. Grundlegung: die antike Naturphilosophie

6. - 5. Jh. BC - 2. Jh. AD

Geprägt durch:

Suche nach allgemeine Prinzipien

Kompatibilität zwischen Natur und Denken

Empirie gestützt auf Beobachtung (weniger auf Experiment)

Theorie gestützt auf Logik und Mathematik

Beispiele:

Philolaos, Zenon, Anaxagoras (5. Jh.BC)

Aristoteles (4. Jh.BC)

Archimedes, Aristarch von Samos, Euklid (3. Jh.BC)

Claudius Ptolemäus (2.Jh.AD)

**Aristoteles** (384 - 322 BC)

Schüler und Freund Platons,

Mitglied der platonischer Akademie

Athener Lykeion Gymnasium

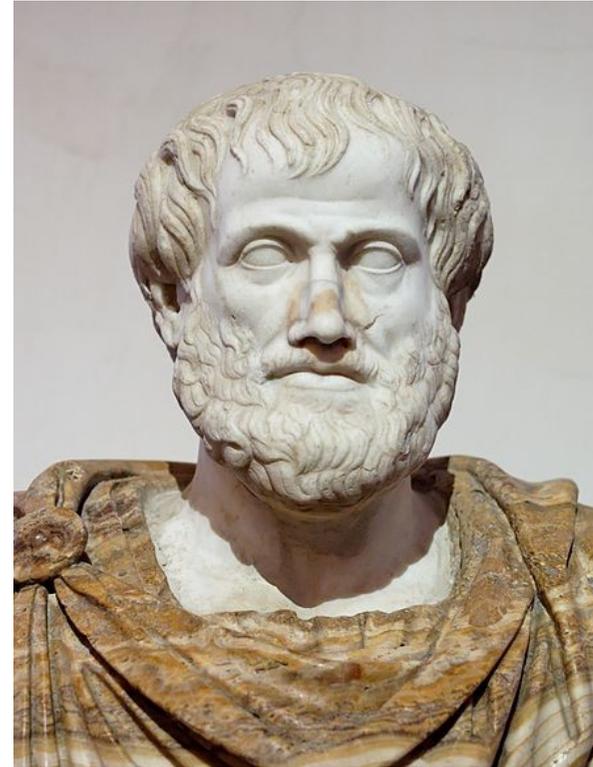
Bewegtes Leben

**Charakteristisch:**

unermüdliche Versuch Gegensätze

ins Gespräch zu bringen und

Synthesen zu leisten



Werk: (Vorlesungen)

- (Kosmologie): "Über den Himmel", "Über entstehen und vergehen", "Meteorologisches",
- (Biologie): "Tierkunde", "Über die Teile der Tiere", "Über die Fortbewegung der Tiere", ...,
- (Psychologie): "Eudemos" (Dialog), "Über die Seele" und "Kleine naturkundlichen Schriften".
- "Metaphysik" allgemeine naturphilosophische und erkenntnistheoretische Fragen

Das Problem der Seiendheit, oder Substanz.

Das Nachprüfen der aus der Sprachanalyse entstandenen Kategorientafel an der Wirklichkeit.

Die Anwendbarkeit des logischen Satzes des Widerspruchs auf den Bereich der Phänomene.

Die Vertiefung der Ursachen-Lehre und des Begriffspaars Möglichkeit/Wirklichkeit.

Die metaphysischen Aspekte der Frage nach dem ersten Beweger.

Die metaphysischen Aspekte des Geistes.

"wir meinen, etwas zu wissen, wenn wir glauben, sowohl die Ursache zu kennen, aufgrund derer ein Ding ist (und zu wissen, dass diese seine Ursache ist), als auch, dass es nicht anders sein kann" und

"dann muss das beweisende Wissen sich auf etwas gründen, was wahr und primär und unmittelbar ist, und das muss bekannter als die Schlussfolgerung sein, ihr vorausgehen und ihre Ursache sein; denn so werden die Prinzipien dem angemessen sein, was bewiesen wird."

„Ontologisierung“ der Denkgesetze

Naturbegriff: Veränderung, Kontinuität, Zweckmässigkeit

## I. Buch:

### Die Prinzipien der Natur

1. Die Wichtigkeit, die Prinzipien der Natur zu unterscheiden
2. Wie viel Prinzipien existieren? Es gibt entweder 2 oder 3 Prinzipien  
(die einfache Opposition und das, worauf die Opposition sich bezieht; die fundamentale Opposition ist Mangel und Überschuss und die Einheit ist das, worauf Mangel und Überschuss sich beziehen)
3. Die richtige Sicht über die Prinzipien

## II. Buch:

### Das Studium der Natur

1. Ein natürlicher Gegenstand hat eine Natur. Ist diese sein Stoff oder seine Form? (Antwort: beides)
2. Das Ziel der Naturwissenschaft (Dieses ist, die Natur der Dinge finden – d.h., ihre Zwecke)
3. Die 4 Arten von Ursachen (Stoff, Form, Wirkung - oder Bewegungsursprung - und Zweck)
4. Frage des Zufalls (Schicksal, Ungefähr: Nebenwirkungen, „auf niedrigerer Stufe als Vernunft und Natur“ P 198a)
5. Finalursache ist die wichtigste Ursache in der Natur

## III. Buch:

### A: Veränderung

1. Definition
2. Veränderung findet statt im veränderten Gegenstand, nicht im Veränderungsagent

### B: Unendlichkeit

1. Die Probleme der Unendlichkeit
2. Unendlichkeit ist keine Substanz
3. Der Sinn, in dem Unendlichkeit existiert (nämlich, potenziell: wo „außerhalb jeder herausgegriffenen Größe noch etwas angetroffen wird“, P 207; also nichts Ganzes)
4. Antworten zu den Argumenten für eine aktuelle Unendlichkeit

## IV. Buch:

### A: Ort

1. Probleme über den Ort

2. Der Ort eines Dinges ist weder sein Stoff noch seine Form
3. Was ist ein Ort (die innerste – nächste – unbewegte Grenze des umliegenden Körpers)
4. Die Welt als Ganzes ist nicht in einem Ort

#### B: Leere

1. Argumente pro und contra
2. Was "Leere" bedeutet
3. Beweis, dass es keine Leere getrennt von Körpern gibt
4. Die richtige Erklärung von Kompression und Expansion (nämlich, als stetige Änderungen)

#### C: Zeit

1. Probleme über Zeit
2. Was Zeit ist (Zahl – Maß – der Bewegung – der Änderung – nach dem Früher und Später und damit auch stetig – P 220)
3. Was ist es "in der Zeit zu sein"?
4. Definition verschiedener zeitlicher Termini

#### V. Buch:

##### Veränderung

1. Unterschied zwischen Veränderung und Variation (oder Bewegung; das letztere findet zwischen zwei existierenden Größen statt – P 225)
2. Verschiedene Arten von Bewegung (entsprechen den Kategorien von Qualität, Quantität und Ort)
3. Oppositionen (Zwischen Bewegungen, zw. Ruhe und Bewegung)

#### VI. Buch:

##### Stetigkeit

1. Beweis, dass kein Kontinuum aus unteilbaren Teilen besteht, Beweis, dass Abstand, Zeit und Bewegung Kontinua sind
2. Ein Jetzt ist unteilbar, daher bewegt sich nichts in einem Jetzt
3. Veränderliches: Gegenstand, Zeit, Veränderung sind alle teilbar
4. Was auch immer sich ändert, hat sich schon verändert
5. Zeno's und andere Argumente „sind für uns keine Schwierigkeit“

#### VII. Buch:

##### Verschiedene Punkte bezüglich Änderung

1. Alles, was sich ändert, wird von etwas geändert (bewegt, etc)

2. Veränderungsagent und veränderter Gegenstand müssen in Kontakt sein
3. Nur wahrnehmbare Qualitäten können sich ändern oder etwas ändern
4. Kraft ist zum Gewicht wie Abstand zur Zeit (aber: Halbe Kraft mag gar keinen Effekt haben..)

#### VIII. Buch:

Ewige und unveränderliche (unbewegliche) Ursache aller Änderungen

1. Bewegung hat immer existiert (und wird existieren)
2. Es gibt bewegte und ruhende Dinge
3. Jedes bewegte Ding wird von etwas bewegt
4. Es muss einen ersten Beweger geben, der ewig und unbewegt ist
5. Die primäre Art von Änderung ist Bewegung
6. Die einzige Art von Änderung, die stetig und ewig sein kann ist die Kreisbewegung
7. Der ewige erste Beweger hat keine Größe und befindet sich an der äußeren Grenze des Universums

Es beeindruckt hier sowohl die Sorgfalt und Wahrhaftigkeit der Diskussion, als auch der Synthesegeist. Aber auch Begrenzungen.

## V Von Ptolemäus zum Kopernikus

### Auseinandersetzung mit der aristotelischen Naturphilosophie

Impetustheorie: von Philoponos (6. Jh), Avicenna (10.Jh.), Buridan (14. Jh)

Optik, Kontinuum als Vorstellung: Alhazen (10. Jh.)

### Auseinandersetzung mit dem Ptolemäischen Weltbild    Averroes (12. Jh.)

### Mathematik als Grundlage der Wissenschaft                    Averroes, Roger Bacon (13. Jh.)

Kopernikus (1473-1543)

Beweglichkeit der Erde (revolutionärer), Einfachheit der Bahnen (aristotelisch)

Giordano Bruno (1548-1600):                    Infinitistische Kosmologie

William Gilbert (1544-1603):                    Erdmagnetismus

Evangelista Torricelli (1608-1647), Blaise Pascal (1623/1662):                    mechanistische Erklärung des *horror vacui*

## VI Kopernikanische Revolution – Einstein'sche Revolution

### Geschichte:

- Heliozentrische Systeme: Aristarchos (3. Jh. BC), Aryabhata (6. JH. AD)
- Geozentrische Systeme: dominant seit Antike bis Mittelalter: Ptolemäus (2. Jh.AD)
- Hybrid-Modelle: Tycho Brahe (1546-1601)
- Kopernikus (1473-1543): kinematisches Modell (hat nur Kreise)
- Kepler (1571-1630): kinematische Gesetze, Ellipse, Sonne in Zentrum
- Galilei (1564-1642): freier Fall, Symmetrien, Äquivalenzprinzip
- Newton (1642-1726) , Gesetze der Bewegung, Gravitationskraft
- Maxwell (1831-1879), Elektrodynamik (nicht-galileische Symmetrie)
- Einstein (1879-1955), relativitätstheorien

Entscheidend: a) Dynamik b) Entwicklung

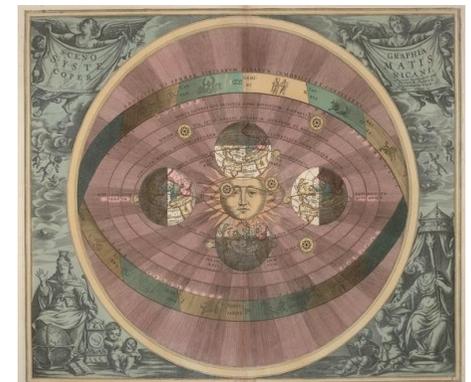
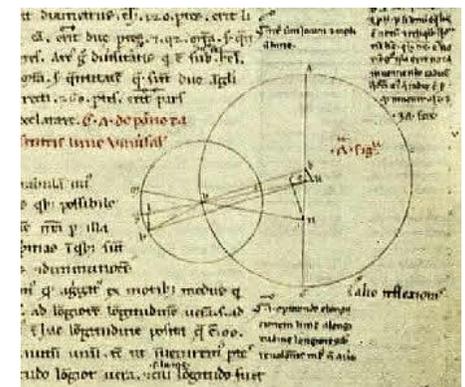
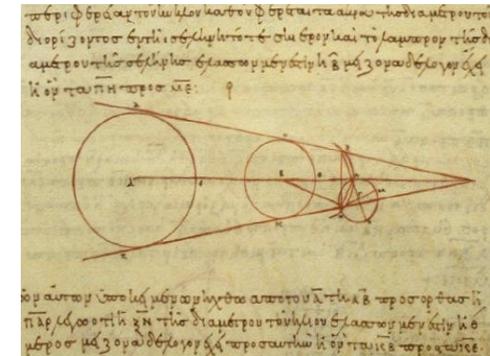
- Erst im Kopernikanischen Modell könnte die Dynamik erkannt werden  
(universelle Anziehung, Gravitationskraft) (Kraft → Wechselwirkung)
- Auf dieser Basis: Klassische Mechanik, ED, Paradigma der klassischen Physik

### Infragestellung: in der Einstein-schen Theorien

- Kinematik: spezielle Relativitätstheorie
- Dynamik: allgemeine Relativitätstheorie

Keine absolute Raum/Zeit. Der Begriff von Kraft bleibt nur als „effektiver Begriff“.

Stattdessen: lokale Wechselwirkung



## VII Grundlegung der modernen Physik

**Galileo Galilei** (1564 – 1642); Anfang der modernen Physik

experimentelle Methode

theoretische Entwicklung: basiert auf Mathematik

**Isaac Newton** (1642 – 1726): Begründer der modernen Physik

Mathematik, Optik

Mechanik: Aufstellen einer Theorie

Physik wird zu anerkannte gesellschaftliche Einrichtung

(Academia die Lincei, Royal Society)

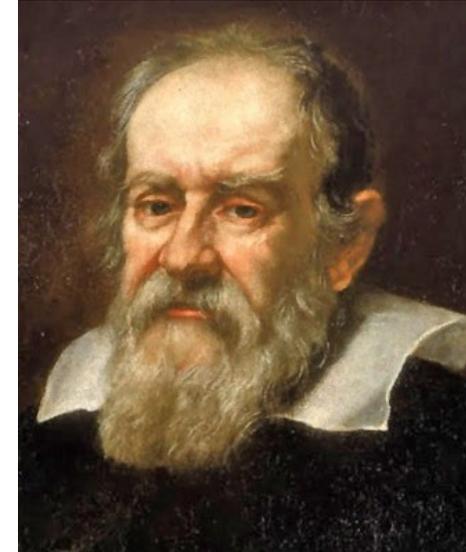
Johannes Kepler (1571-1630), kinematische Gesetze des Sonnensystems

Gottfried Leibniz (1646-1716), Infinitesimalrechnung, Energieerhaltung

Christian Huygens (1629-1695), Wellenoptik

Robert Hooke (1635-1703), Gravitation, Elastizität

Rene Descartes (1596-1650), Ausdehnung, (fast) Impulserhaltung



## VIII Die klassische Physik

Die „klassische Physik“, mechanistisches Weltbild,

Mechanik, Elektrodynamik, Thermodynamik, Statistische Mechanik

Maxwell (1831 – 1879): Elektrodynamik, Gas Theorie

Boltzmann (1844 – 1906): Thermodynamik, Gastheorie

Allgemeine Bild der physikalischen Phenomene; Mathematik

Michael Faraday (1791-1867)

Hamilton, Euler, Lagrange, Jacobi, ...

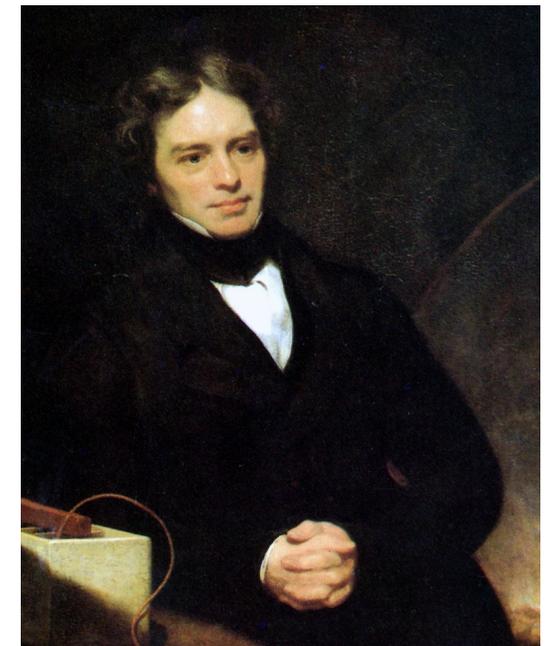
Ausbau der Empirie: Experiment und  
systematische Beobachtung

Ausbau der mathematischen Physik

Empirie - Naturgesetze - Theorien

Allgemeine Weltbild:

Hermann von Helmholtz



## IX Aufbruch in der Moderne

„Bruch“ mit der klassischen Physik: RT, QM

Einstein (1879 – 1955)

Die kopenhagene Schule: Bohr, Schrödinger, Heisenberg

R – Z , R – Z Kausalität, statistische Gesetze, Teilchen und Felder

Lorentz, Planck, Pauli, Dirac, ...

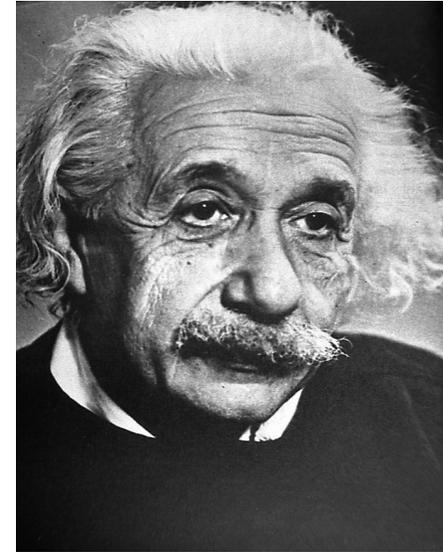
Pierre und Marie Curie, Rutherford, ...

Feldtheorien (remember Faraday!)

Astrophysik und Kosmologie: Hubble, das offene Universum

Neues physikalisches Weltbild

Grundlagen des Standard Modells der Elementarteilchen und der Kosmologie



## X Das Standard Modell

### Das Standard Modell der Elementarteilchen

#### Zwei parallele Entwicklungen

Starke Wechselwirkungen (QCD)

Elektro-Schwache Wechselwirkungen (E-W Modell)

(beide phänomenologisch schon gewissermaßen bekannt und modelliert: viele bekannte Teilchen mit ihren Eigenschaften –

Masse, Ladung, weitere Quantenzahlen als Folge von (häufig empirische) Auswahlregeln,  
pion-Austausch-Modell für Kernkräfte – Yukawa - , Fermi-Modell für schwache Wechselwirkungen,

die sehr erfolgreiche quantenfeldtheoretische Theorie der QED für die elektromagnetische Wechselwirkungen)

Quark Modell (Gell-Mann, Nee-mann, Zweig 1960-64)

QED (Feynman, Schwinger, ... ~1950's)

Entdeckung ungewöhnlicher Baryonen ( $\Delta^{++}$ )

1. Vereinigung von el. und schw. Ww (Glashow 1960)

Struminsky, Han, Nambu Vorschlag (spätere Quarksfarbe) (1965)

Higgs Mechanismus (Higgs, ... 1963)

Partonen (Feynman, Bjorken 1969)

Renormierbarkeit des Higgs Modells ('t Hooft.. 1972)

#### Heranziehen nicht-abelschen Eichgruppen

asymptotische Freiheit (Politzer, Gross, Wilczek, 1973)

E-W Model (Weinberg, Salam 1967)

Confinement, nichtperturbative Renormirerung (Wilson 1974)

Entdeckung neutraler Ströme (CERN 1973)

Nachweis von starken Eichbosonen durch Jets (Petra-Desy, 1979)

Beobachtung von e-w Eichbosonen (CERN, 1983)

Das Higgs Teilchen (CERN, 2012)

# Das Standard Modell der Kosmologie

Quasi-Vereinheitlichung, Quanten -klassische „friedliche Koexistenz“: QFT(SRT) und ART

Neue Definition der Empirie

Beispiel: Entfernungen messen, kosmische Entfernungsleiter

←----- Standard Kerzen ----->

←----- Paralaxe ----->

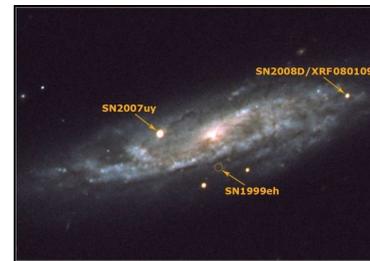
←----- Rot verschiebung ----->



LJ



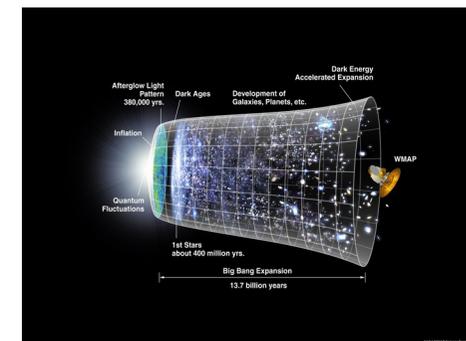
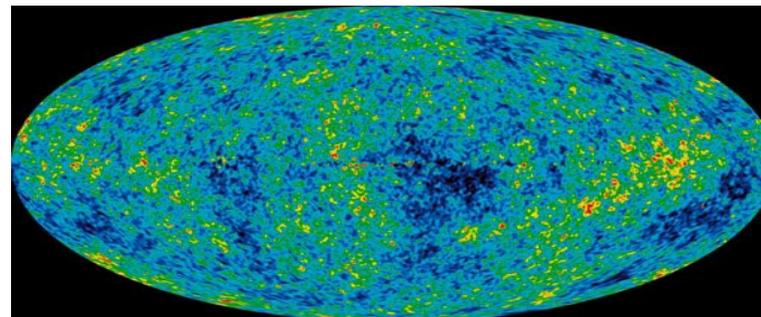
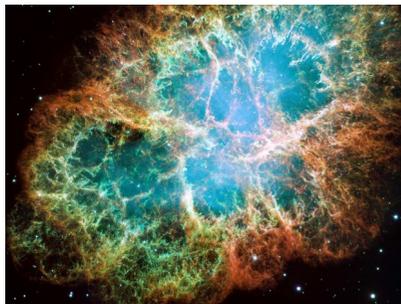
$10^4$  LJ



$10^8$  LJ



$10^{10}$  LJ



## **XI. Charakter der heutigen Physik**

### **Skalenvereinigung, von Mikro to Makro-Kosmos**

das Standardmodell der fundamentalen Wechselwirkungen, das Standardmodell der Kosmologie  
gegenseitige Einfluss, bedeutende Fragen aus der Kosmologie in der Elementarteilchenphysik:(dark matter)

### **Symmetrien als Konstruktionsprinzip, Erhaltungssätze als Interpretations- und Auswahlkriterien**

Strukturgesetze, Dynamische Gesetze, Neue Definition des Experiments und der Messung,

### **Ziele der weiteren Entwicklung**

jenseits des Standardmodells der fundamentalen Wechselwirkungen  
suche nach der Quantengravitation (jenseits der „friedlichen Koexistenz“)

Suche basiert auf

Fragen der theoretischen Konsistenz (GUT, Stringtheorien)

Impulse aus kosmologische Beobachtungen

*Vereinheitlichung als regulative Idee*