

# Der Weg der Physik – Die klassische Physik

## I. Vorgeschichte

### I.A. 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

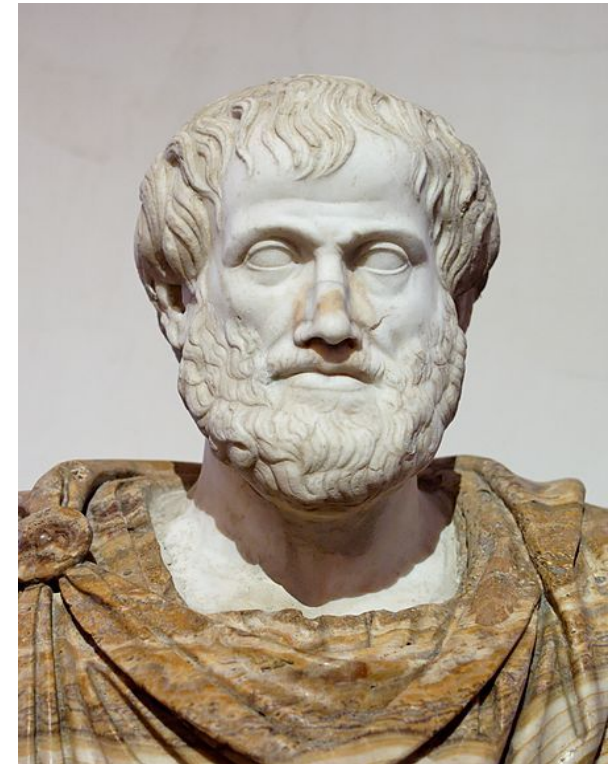
Beispiele:

Philolaos, Zenon, Anaxagoras (5. Jh.BC) (1) (2)

**Aristoteles (4. Jh.BC)**

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

Claudius Ptolemäus (2.Jh.AD)



Aristoteles: Gesamtsystem, Studium der Natur: Physik, Kosmologie, Biologie; Mathematik

Grundsätze der Erkenntnis; Prinzipien der Natur (Bewegung-Änderung); Potentielle Unendlichkeit, ...

## I.B. 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.)

Bacon

### Kopernikus (1473-1543)

Beweglichkeit der Erde

Einfachheit der Bahnen

Giordano Bruno (1548-1600): Infinitistische Kosmologie

William Gilbert (1544-1603): Erdmagnetismus

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

## I.C. Grundlegung der modernen Physik

Galileo Galilei (1564 – 1642); Vorbereiter der modernen Physik

experimentelle Methode

theoretische Entwicklung: basiert auf Mathematik

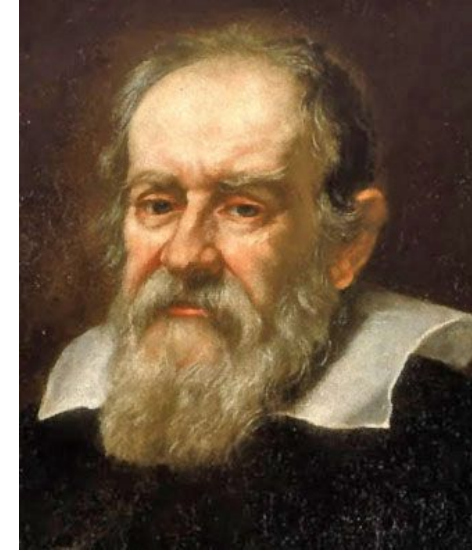
Studium der Bewegung,

Isaac Newton (1642 – 1726); Begründer der modernen Physik

Mathematik, Infinitesimalrechnung

Mechanik, Aufstellen einer Theorie

Optik



### Weitere Momente

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

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), Infinitesimalrechnung, Energieerhaltung

Christian Huygens (1629-1695), Wellenoptik

Robert Hooke (1635-1703), Gravitation, Elastizität

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

### Einzug der Dynamik



## II Die klassische Physik

### II.A. Kurze Übersicht ; Aufbau (18. JH.) und Vollendung (19.JH.)

Mechanik, Elektrodynamik, Thermodynamik, Statistische Mechanik

Michael Faraday (1791-1867)

James Clark Maxwell (1831 – 1879): Elektrodynamik, Gas Theorie

Boltzmann (1844 – 1906): Thermodynamik, Gastheorie

Allgemeine Bild der physikalischen Phenomane; Mathematik

Hamilton, Euler, Lagrange, Jacobi, ...

Ausbau der Empirie: Experiment und systematische Beobachtung

Ausbau der mathematischen Physik

Maxwell



Empirie - Naturgesetze - Theorien

Allgemeine Weltbild:

Hermann von Helmholtz (1821-1894)

„Mechanistisches“ Bild:

2 Paradigmata: Teilchen Bild und Wellenbild,

Newton. Huygens

Vereint in der Elektrodynamik

Helmholtz

Faraday



## II.B. Grunderkenntnisse aus der 16.-17. JH. - die Zeit der grossen Persönlichkeiten

### Mathematik:

Differential und Integralrechnung (Tangente, instantane Geschwindigkeit, Extremwertprobleme: Newton, Leibniz, Fermat, ...)

Analytische Geometrie (Koordinaten, Koordinatentransformation, Liniengleichungen: Descartes, Fermat, van Schooten, ...)

### Physik:

Teilchen und Wellen (Newton, Hook, Huygens)

Lokale Wechselwirkung (wider Fernwirkung, Licht:, Wirbel, Wellen: Descartes, Leibniz, Huygens)

### Philosophie:

Ratio et experientia

Rene Descartes (1595-1650): Materie/Ausdehnung, Seele, Got

Locke, Hobes, Hume,

Leibniz Diskussionsgrundlage für die Kantßschen Philosophie

Baruch de Spinoza (1632-1677): Got ist die Natur

Descartes

Grundlage für die nachfolgende Diskussion ist

Karoly Simony, „Kulturgeschichte der Physik“

einige Bilder und weitere Informationen sind aus Internet)



## II.C. Die Umwelt.

### 18. JH. Aufklärung

Die *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers* 1751 und 1772: 35 Bänder , 72000 Artikel

Keine Autoritäten, kein System: Darstellung und Untersuchung des vorhandenen Wissens

Herausgeber: Denis Diderot (1713-1784), Jean-Baptiste le Rond d'Alembert (1717-1783);Voltaire, Rousseau, Montesquieu, ...

### Mathematisch Physik

Euler (1701-1783), Systeme von Punktmassen, Flüssigkeiten, Starre Körper, Variationsprinzip

D'Alembert

die Bernoulli Familie: Hydrodynamik, Elastische und inelastische Stöße, u.a.

Jakob (1654-1705), Johann (1667-1748), Daniel (1700-1782)

Pierre Simon Laplace (1749-1827)

Laplace

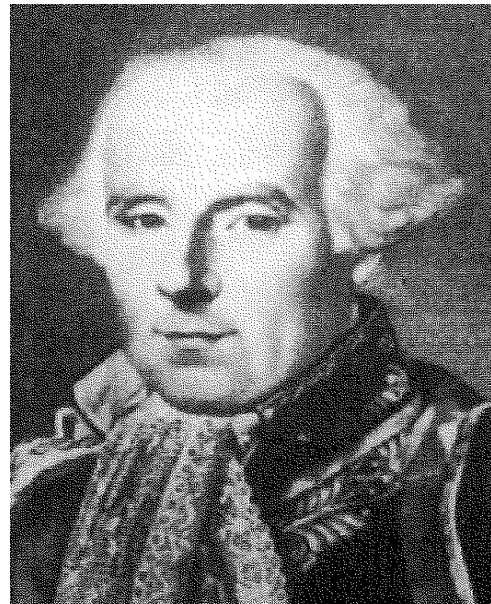
**Philosophie:** Immanuel Kant (1724-1804)

### 19. JH. Die industrielle Revolution

#### Mathematische Physik:

Gauss, Mersenne. Bolyai, Galois, Lie

**Philosophie:** von Kant zu Helmholtz



### III. Aufbau und Vollendung der klassischen Physik, 18. und 19. JH.

#### III.A. Kurze Übersicht

- Erstes allumfassendes System der Physik
- Grundlage für alle weitere Entwicklungen
- Gehört zum heutigen Curriculum
- Grundlage für die technische Basis unserer Zivilisation

Fast parallele Entwicklungen, in Wechselwirkung:

#### Mathematik

- Infinitesimalrechnung,
- Geometrie (nicht-euklidische, analytische, vektorielle)

#### Mechanik

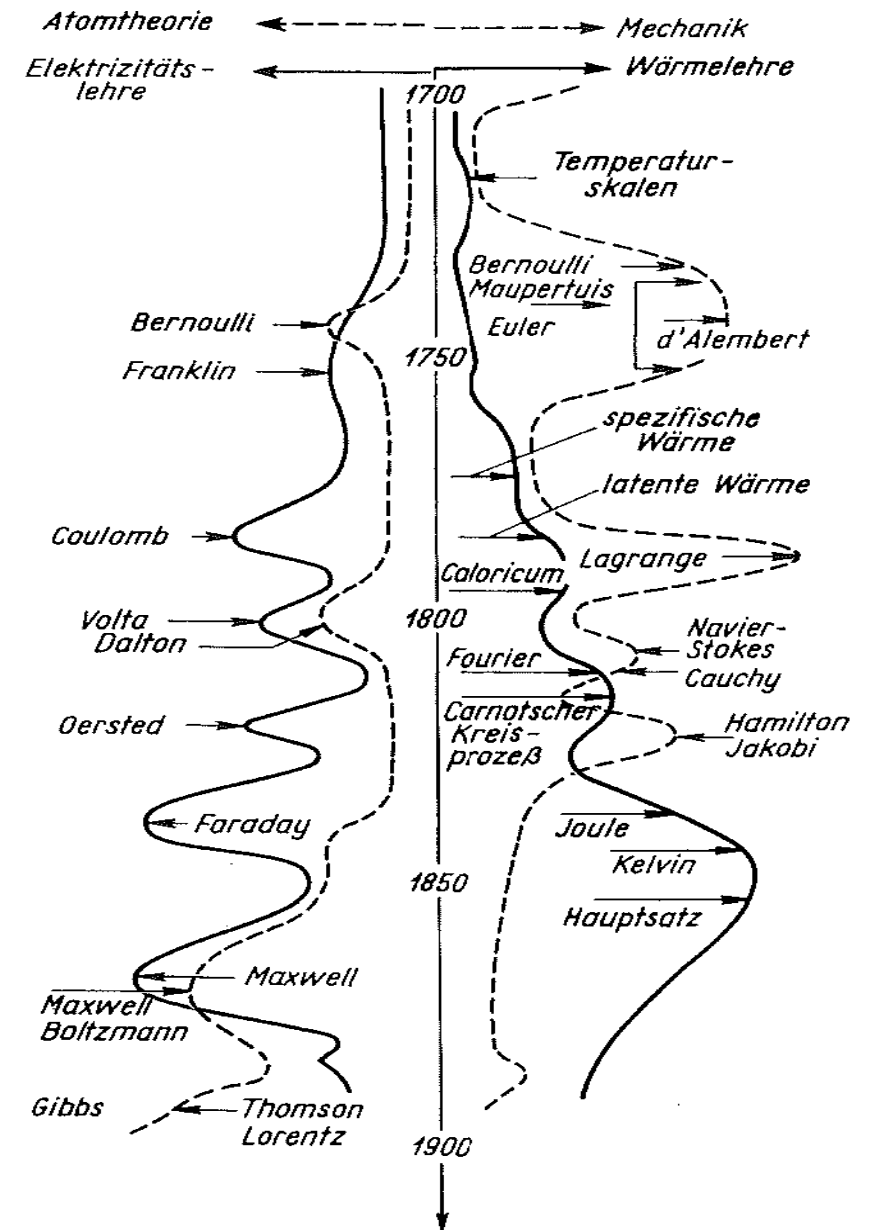
- Weiterentwicklung der Newtonschen Mechanik
- Analytische, Tensorielle

#### Elektrizität

- Von qualitativer zu quantitativer Beschreibung
- Von einzelnen Beschreibungen zur Gesamtbeschreibung

#### Wärme

- Thermodynamik
- Gastheorie und statistische Mechanik (cf Simony)



### III.B. Mechanik

#### Weitere Entwicklung der Newtonsche Mechanik

- Ensembles von Massenpunkten, Starre Körper, Flüssigkeiten

#### Leonhard Euler (1701-1783)

Begründer der analytischen Mechanik,  
der Variationsrechnung, der Hydrodynamik

Fermat, Maupertui Variationrechnung, Extremalprinzip

#### Neue Prinzipien, Diskussion um Kraft

- Verbannung der Kraft, lokale Wechselwirkung
- D'Alembert (Leibniz, Descartes) , positivistische Denkweise
- Rogerus Boscovic (1711-1787), Kraft als Basis, Wechselwirkung zwischen Atome
- Michail Lomonosow (1711-1765)

Die Idee der Wärme als Bewegung

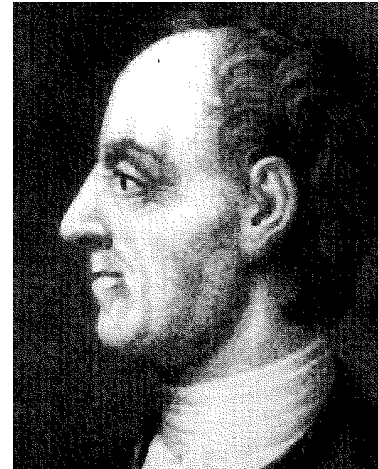
#### Die Krönung der analytischen Mechanik

Joseph Louis Lagrange (1736-1813)

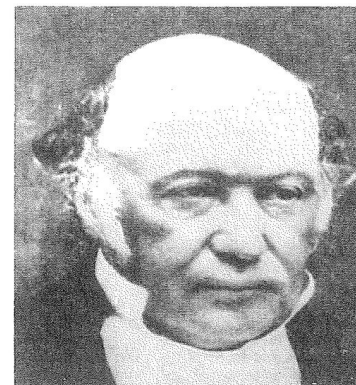
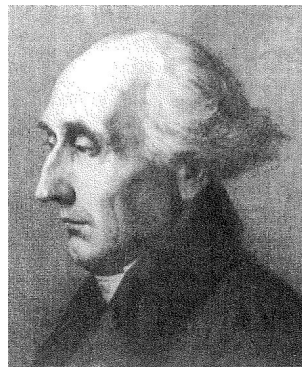
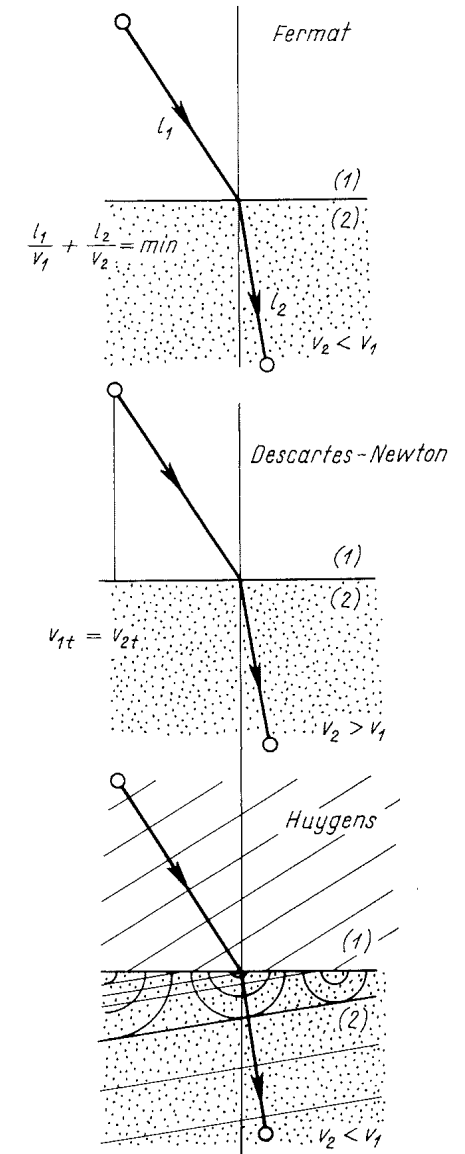
William Rowan Hamilton (1806-1865),

Simeon Denis Poisson (1781-1840)

Lagrange, Hamilton



Euler





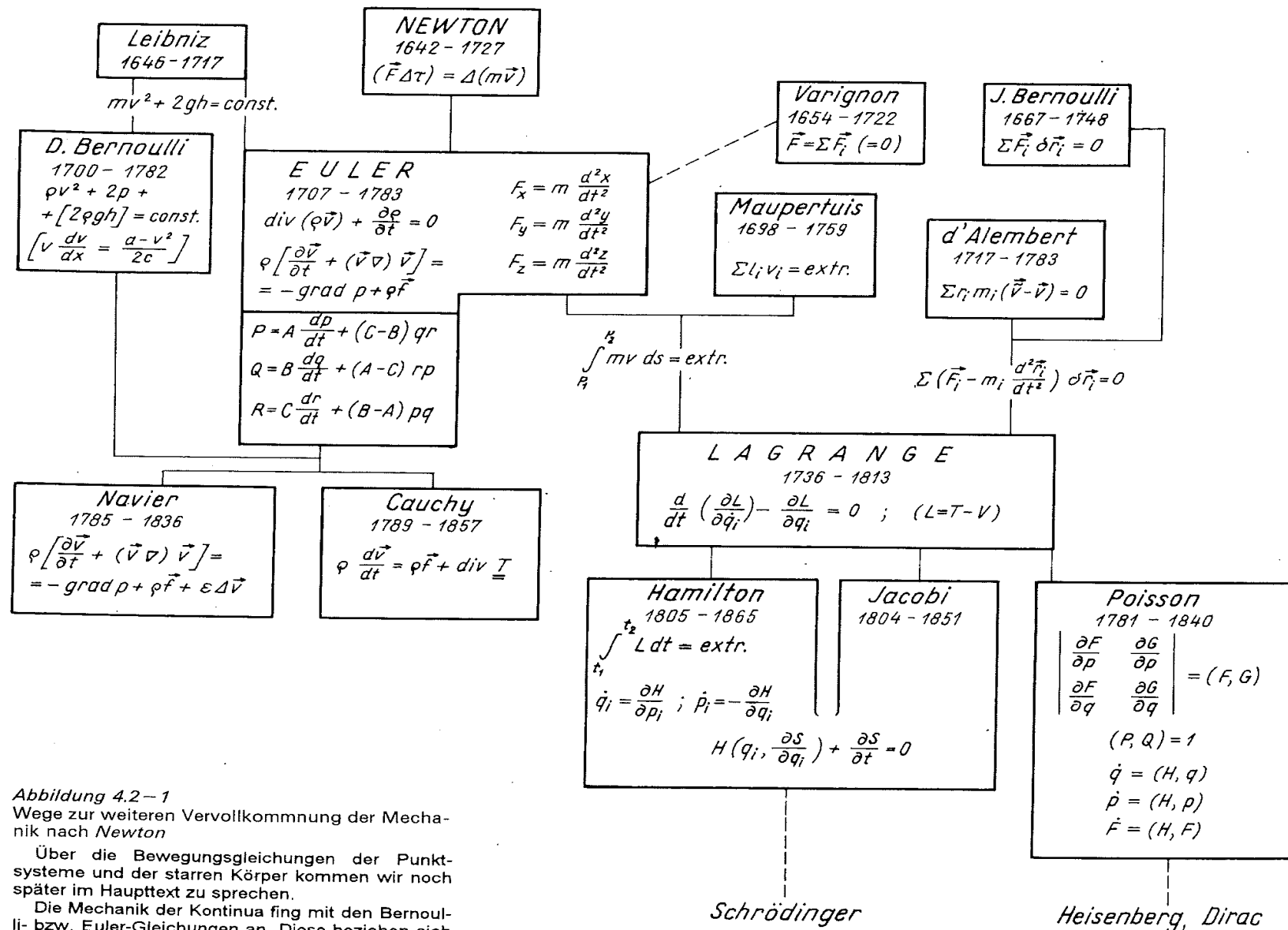


Abbildung 4.2-1  
Wege zur weiteren Vervollkommnung der Mechanik nach Newton

Über die Bewegungsgleichungen der Punktsysteme und der starren Körper kommen wir noch später im Haupttext zu sprechen.

Die Mechanik der Kontinua fing mit den Bernoulli- bzw. Euler-Gleichungen an. Diese beziehen sich auf inkompressible bzw. reibungslose ideale Flüssigkeiten. Navier stellte seine Gleichung 1822

### III.C. Elektrodynamik

#### Newtonsche Mechanik als Modell für Kraft

#### Elektrostatik

geht vorerst von einer beweglichen Ladung,  
dann positive und negative Ladungen

Charles Auguste de Coulomb (1736-1806)

Henry Cavendish (1731-1810)

Karl Friedrich Gauss (1777-1878)

#### Strom

Galvani, Volta

Georg Simon Ohm (1787-1854)

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887)

#### Ströme und Elektromagnetismus

Andre Marie Ampere (1776-1836)

Hans Christian Oersted (1777-1851)

Jahr	Phänomen / Beschreibung	Name	Lebensdaten	Wichtige Erkenntnisse / Formeln	Beziehungen / Theorien
1600	magnetische Erscheinungen	Gilbert	(1540 – 1603)	Verticitas, Attractio Erde = Magnet	Kartesianische Wirbeltheorie
1672	Reibungselektrifiziermaschine	Guericke	(1602 – 1686)	Anziehung, Abstoßung	
1700					
1705-1709		Hauksbee	( ? – 1713)	Gasentladung	
1729	qualitative Elektrostatik	Gray	(1666 – 1736)	Influenz, Leitung, Leiter-Isolator, Rolle der Oberfläche Zwei Formen der Elektrizität	Wirbeltheorie
1733		Dufay	(1698 – 1739)		
1745		Musschenbroeck	(1692 – 1761)	Leidener Flasche	Nollet 1746 Affluvium- Effluvium
		FRANKLIN	(1706 – 1790)	Ladung, + und-, Spitzen- wirkung, Blitzableiter, Ladungserhaltung	
1767	quantitative Elektrostatik	Priestley	(1733 – 1804)	Erklärung der Influenz	zwei Fluida, australisches und borealisches (magnetisches) + Fernwirkung
		Aepinus	(1724 – 1802)		
		Cavendish	(1731 – 1810)		
1784		COULOMB	(1736 – 1806)	$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	
1800					
	Gleichstrom	Galvani VOLTA Davy	(1737 – 1798) (1745 – 1827) (1778 – 1829)	Volta-Säule	
1811	magnetisches Feld eines Stromes	Poisson	(1781 – 1842)	Savart (1791-1842) $\Delta V = -4\pi\rho$ $d\vec{B} \sim \frac{i d\vec{r} \times \vec{r}_0}{r^2}$ $d\vec{F} \sim i_1 i_2 \frac{(d\vec{s}_1 \times (d\vec{s}_2 \times \vec{r}_2))}{r^2}$	
1820		Oersted (1777-1851)	Biot (1774-1862)		
1826		AMPÈRE	(1775 – 1836)		
1831		Ohm	(1789 – 1854)		Ohmsches Gesetz $U_i = -\frac{d\phi}{dt}$
1845	elektromagnetisches Feld	FARADAY	(1791 – 1867)	Faraday - Drehung	
		Weber	(1804 – 1890)	$L_{ik} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \frac{d\vec{s}_i \cdot d\vec{s}_k}{r}$ $\omega = 1/\sqrt{LC}$ $\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ $v = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$	
		Neumann Thomson	(1798 – 1895) (1824 – 1907)		
1864		MAXWELL	(1831 – 1879)		
1873					
1886-1888		Hertz	(1857 – 1894)		

### III.D. Die zwei grosse Figuren des 19 JH.

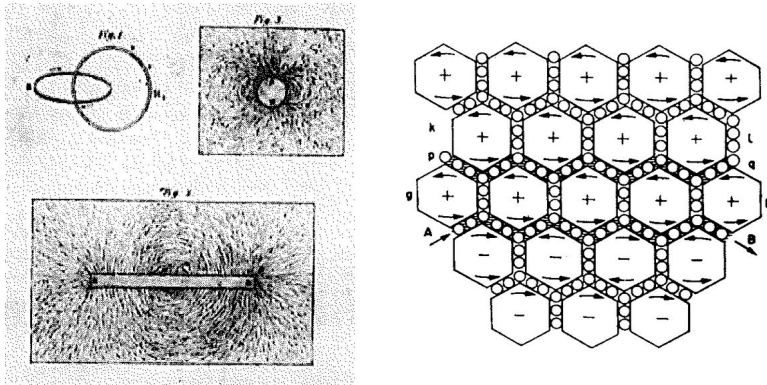
Michael Faraday (1791-1867)

von Buchbinderlehrling zum grössten Experimentator

James Clerk Maxwell (1831-1879)

Mathematik und Physik Studium

wurde zum grössten Theoretiker



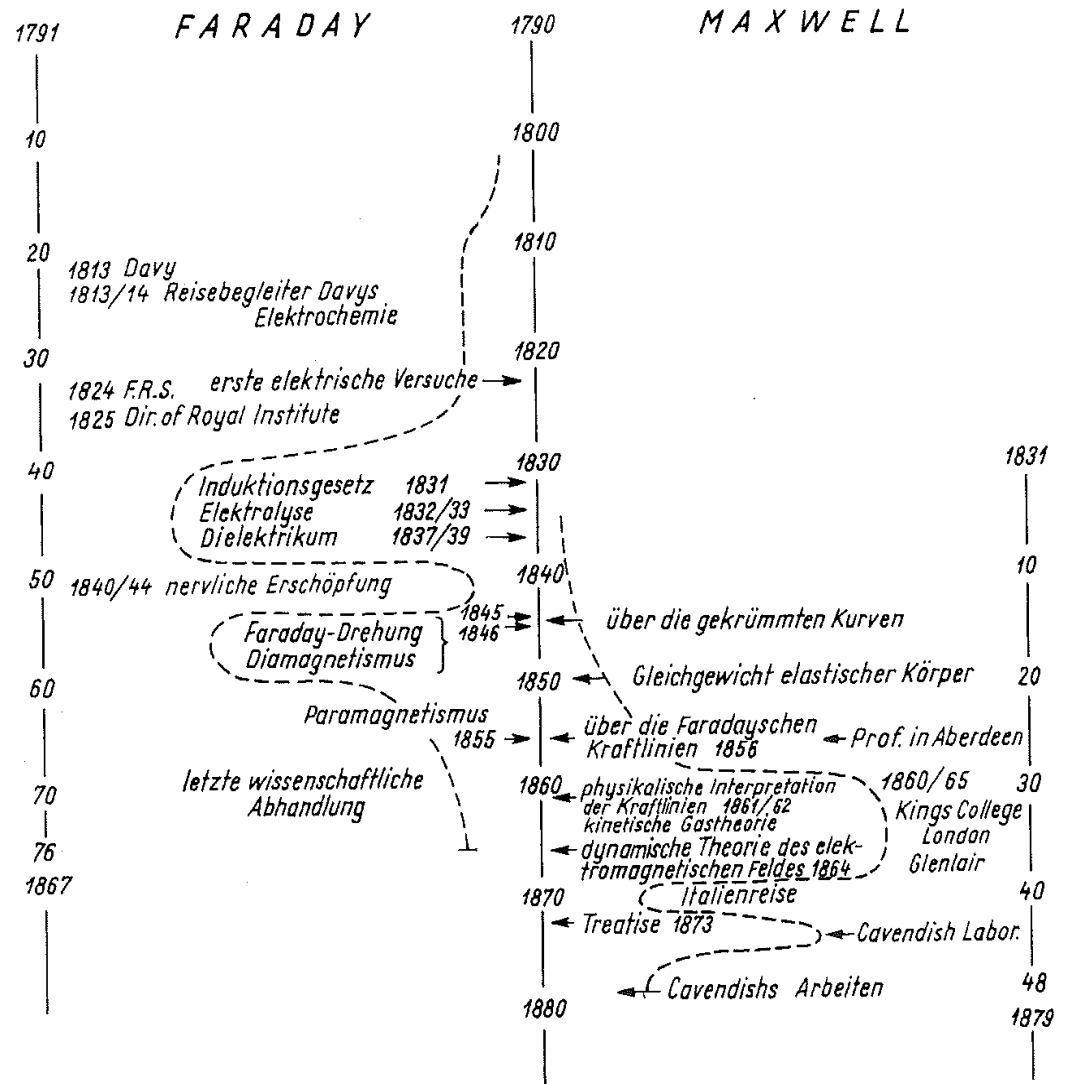
Maxwellsche Gleichungen als erste Vereinigung

Mächtigkeit: in der generative Potenz, in der

Einbeziehung weiterer Phänomene: Licht

Heinrich Hertz (1857-1894) Elektromagnetische Welle

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1920) Elektronentheorie



### III.E. Wärme (und Energie)

#### Caloricum-Theorie:

Joseph Black (1728-1799)

Elastisches Fluidum, erhalten, übertragbar

Kann viele Phänomene *quantitativ* erklären,

bis auf die Ezeugung von Wärme durch Reibung

Fourier



#### Kinetische Theorie

Benjamin Thompson (Graf Rumford) (1753-1814),

bewegtes Leben, viele Errungenschaften (auch der Englische Garten!)

Wärmeerzeugung beim Ausbohren von Kanonenrohren, die Kinetische Theorie kann sich erst spät durchsetzen

**Wärmeleitung:** Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)

**Gasentheorie:** Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850)

Laplace-sche Herleitung der Zustandsgleichung auf der Basis der Caloricum Theorie

**Der Carnot Prozess. Technik: Zusammenhang mit Dampfmaschinen**

James Watt (1736-1819), Sadi Nicolas Leonard Carnot (1798-1832)

(Analogie mit Wasserfall, aber vom Wassermenge nicht vom

Potentielle Energie ausgehend!)

Carnot





## Kinetische Theorie der Wärme und Energieerhaltung

John James Waterston (1811-1883)

kinetische Energie der Moleküle, Gleichverteilungssatz

## Energieerhaltungssatz

Julius Robert Mayer (1814-1878), Erwärmung bei Stößen, Chemische Vorgänge

James Prescott Joule (1818-1889), Erwärmung beim Fließen eines Stroms

Equivalence of Heat and Mechanical Power

Hermann von Helmholtz (1821-1894), Formulierung der Energieerhaltungssatzes (1847)

## Thermodynamik

I. Hauptsatz: Energieerhaltung

II. Hauptsatz: Unmöglichkeit des Perpetuums Mobile

Rudolf Clausius (1822-1888),  $S=Q/T$  (aus dem Carnot-schen Prozess)

## Kinetische Theorie der Gase als Konkretisierung der Kinetischen Theorie der Wärme

Rudolf Clausius (1822-1888)

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907)

Ludwig Boltzmann (1844-1908), J. C. Maxwell

Boltzmann

## Deutung des II. Hauptsatzes aus der Gasentherie

Boltzmann 1866, Clausius 1871

Maxwellsche Verteilung, Entropie und Wahrscheinlichkeit



### III.F. Aufbau der Materie und die sich aufzeichnende Probleme...

Aus der Chemie: Hinweise auf die Molekular- und Atom-Struktur; Gasentheorie

John Dalton (1766-1844) Atomhypothese für Gasen: Atome als glatte elastische Kugeln

Gay-Lussac, Avogadro (1776-1856) selbe Anzahl von Moleküle in selben Volumina

#### Das Elektron

Joseph John Thomson (1856-1940) Erklärung der Kathodenstrahlen (1897)

Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923)

#### Atomaufbau

J. J. Thomson: ringartiges Rosinenpudding-Modell

Ernest Rutherford (1871-1937) Planeten-System

#### Periodensystem (1869)

Dmitri Mendelejew (1834-1907), Lothar Meyer (1830-1895)

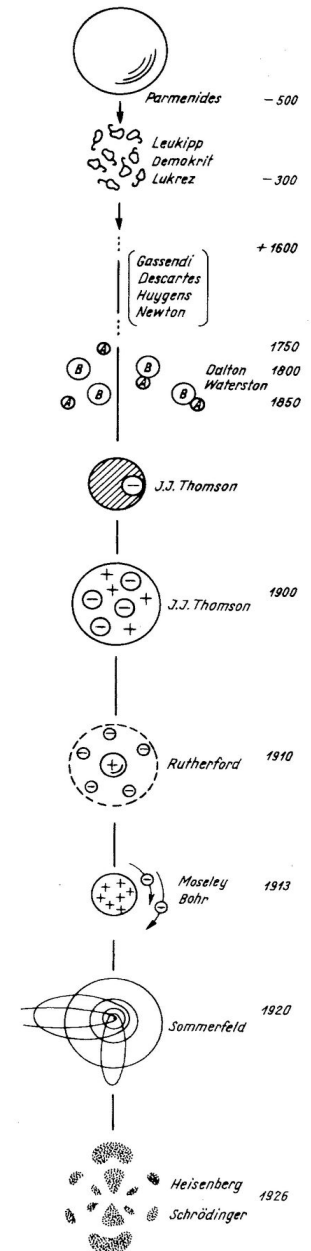
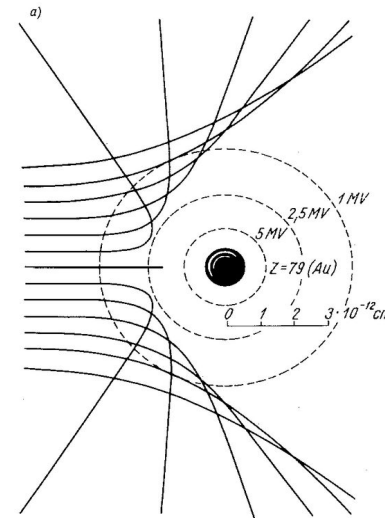
#### Nicht mehr erklärbar:

Stabilität der Materie

Atomspektren

Johann Jacob Balmer (1825-1898, Gymnasiallehrer)

Wechselwirkung des elektromagnetischen Feldes mit der Materie



### III.G. Philosophische Verständnis und Weltbild der klassischen Physik

Am besten durch Hermann von Helmholtz ausgedrückt (in den „Tatsachen in der Wahrnehmung“):

[Zum Kausalgesetz](#): (S. 171-172)

[Zur realistischen Hypothese](#) (S. 168)

[Zum Kant-schen a priori Formen der Anschauung](#) (S. 195)

(Siehe pdf file [Helm\\_Tatsachen.pdf](#) in TEXTE)

### III. H. Wer waren diese Leute?

Descartes: kleinadelige Familie

D'Alembert: uneheliches Kind

Laplace: aus reicher Landwirt Familie, später Marquis de

Poisson: Sohn eines Soldaten

Gauss: Sohn eines Maurers

Coulomb: Angesehene Juristenfamilie

Faraday: arme Familie

Ohm: Gymnasiallehrer

Maxwell: Sohn eines Rechtsanwalt

...

Was sie antreibt ist Neugier und der Wunsch nach Wissen.

Anerkennung (und meist auch sozialer Aufstieg wenn relevant).

Viele Talente gehen verloren, aber wo sie sich durchgeschlagen haben, ist der Herkunft nicht mehr wichtig.