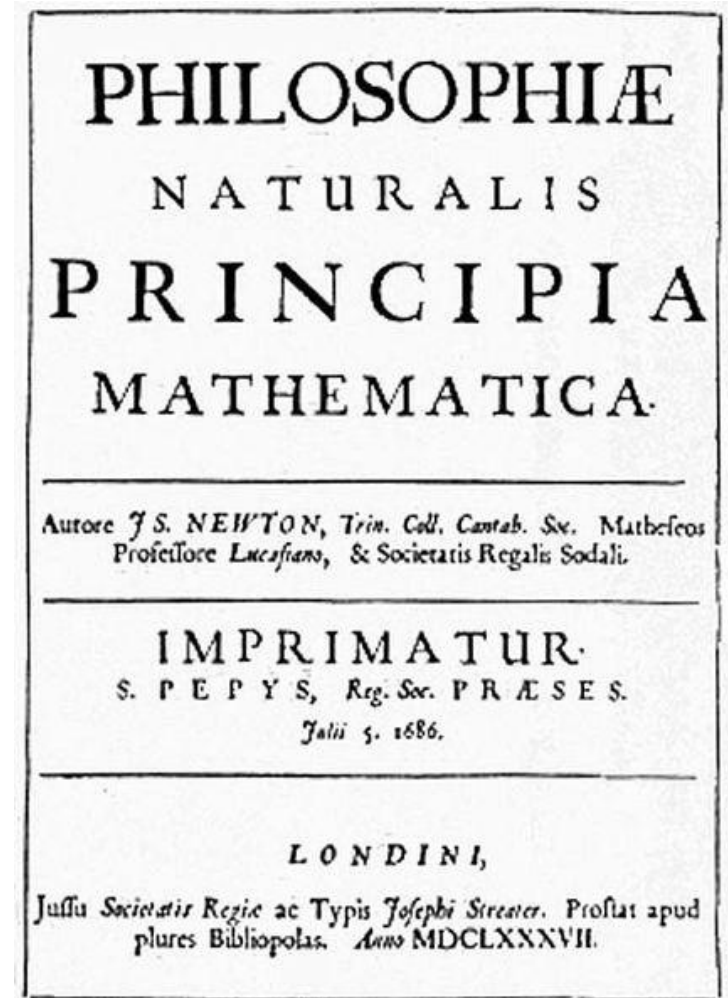


- 2. Die Gesetze der Bewegung
 - 2.1 Galileis Untersuchung des freien Falls
 - 2.2 Stoßvorgänge und Impulserhaltung
 - 2.3 Die Newtonschen Axiome und das Gravitationsgesetz
 - 2.4 Isaac Newton – Leben und Persönlichkeit
 - 2.5 Die Mathematisierung der Physik
 - 2.6 Leonard Euler und Lagrange – Biographien



Titelblatt von Newtons „Principia Mathematica

Das Experiment hält Einzug in die Physik: Galilei – Descartes – Huygens



Galileo Galilei
(1564 – 1642)



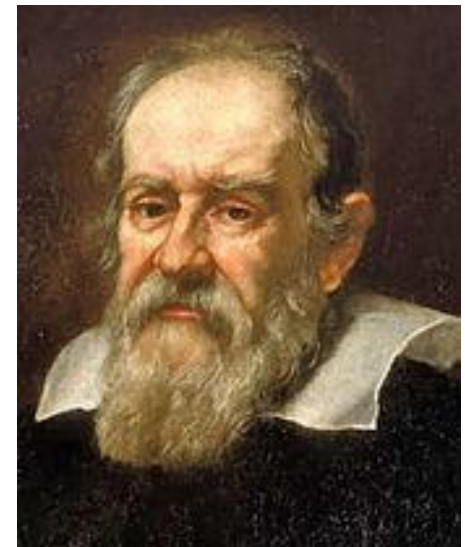
René Descartes
(1596 – 1650)



Christiaan Huygens
(1629 – 1695)

Galileo Galilei – Stationen seines Lebens

- 1564 in Pisa geboren
Schulische Erziehung durch Privatlehrer und in einer Klosterschule
- 1581 Studienbeginn in Pisa: Medizin, Philosophie und Naturkunde; kein Abschluss; erste Veröffentlichungen
- 1592 – 1610 Professor in Padua: Arbeiten zur Theorie der Bewegung; Experimente an der schiefen Ebene; Gesetz des freien Falls
Bau eines Fernrohrs, das er auf den Himmel richtete: Entdeckung der „Wunder des Himmels“
- 1610 Rückkehr nach Florenz: Mathematiker und Philosoph des Großherzogs der Toscana
- 1611 Mitglied der „Accademia die Lincei“
- 1638 Druck seines 2. Hauptwerkes „Discorsi“ in Leiden
- 1642 in Arcetri bei Florenz gestorben



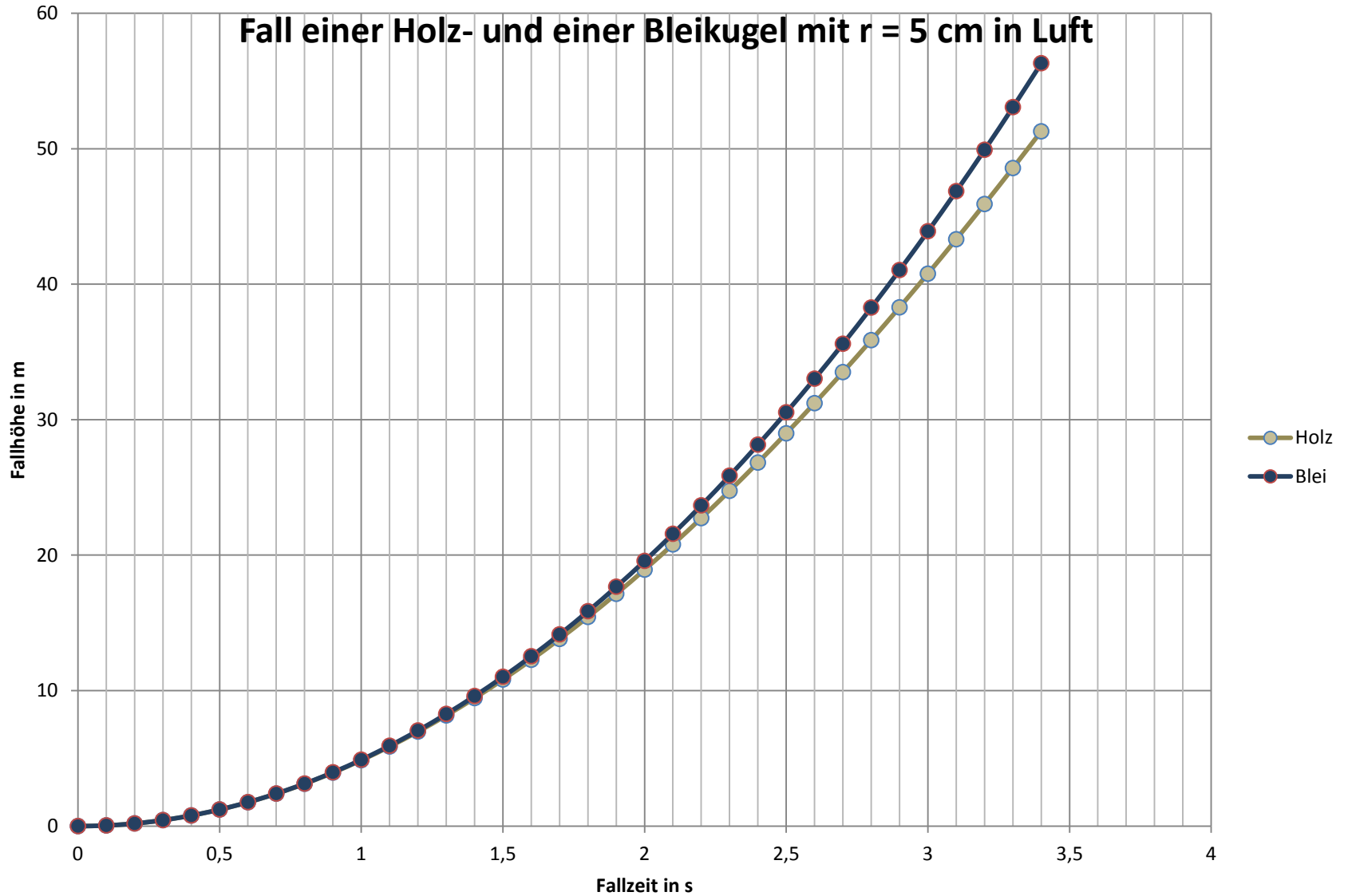
Führte Galilei am schiefen Turm von Pisa Fallexperimente durch?

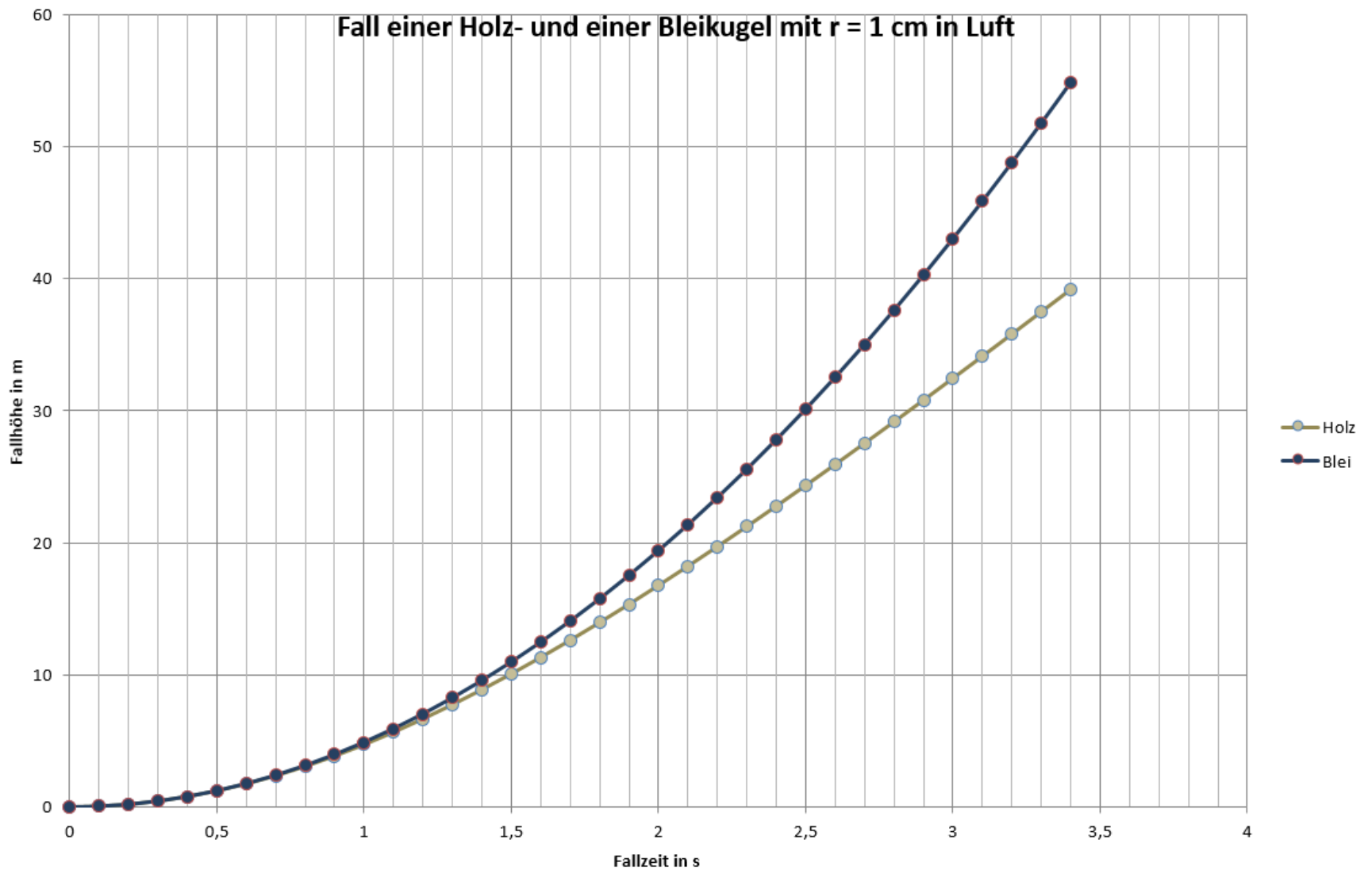


Zitat aus seiner Schrift „De Motu“: „ Wenn man eine Kugel von Blei und eine von Holz von einem hohen Turm fallen lässt, bewegt sich das Blei weit voraus.“ (1590)

Maximale Fallhöhe: 50 m
Maximale Fallzeit: 3,2 s

Fall einer Holz- und einer Bleikugel mit $r = 5$ cm in Luft

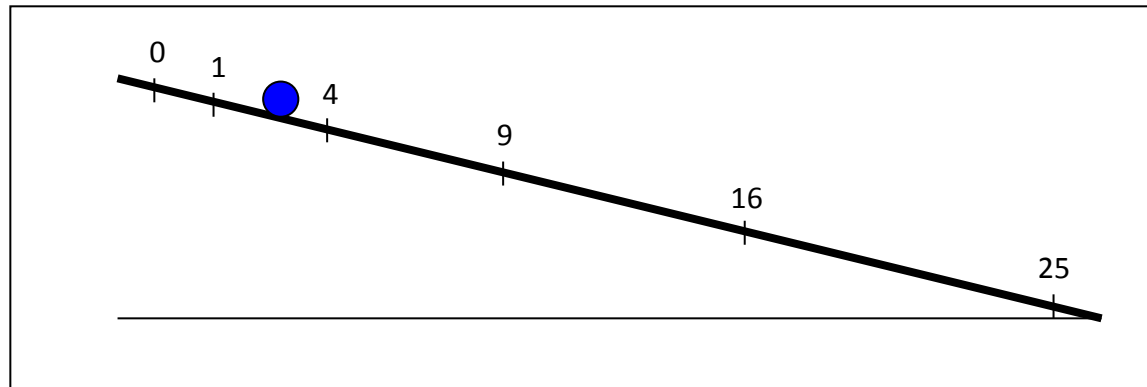




Galileis Arbeitszimmer

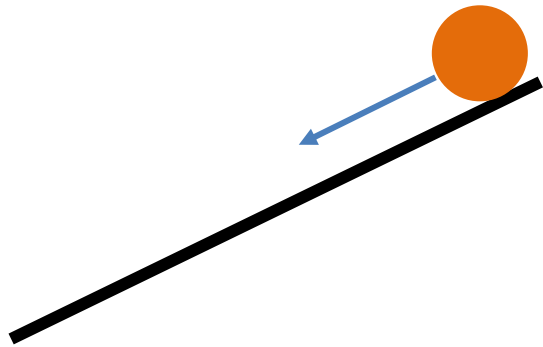


Bewegung einer Kugel auf der schiefen Ebene

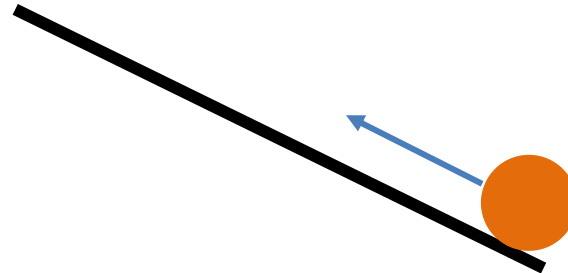


Die Stellen 1, 4, 9, 16, 25 werden vom Startpunkt 0 nach jeweils gleichen Zeitabständen erreicht.

Galileis Überlegungen zum Trägheitssatz aus dem Dialog



1. Kugel auf abschüssiger Fläche



2. Kugel auf ansteigender Fläche



3. Kugel auf horizontaler Fläche

Galileis bleibende Verdienste

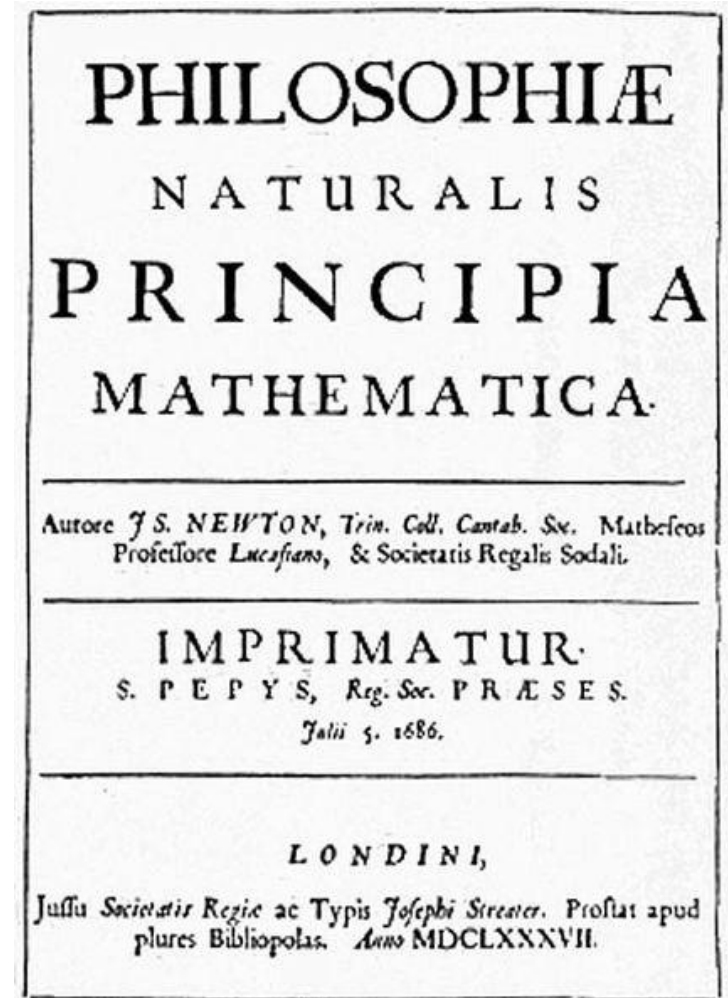
1. Astronomische Beobachtungen und ihre Deutung
2. Schaffung einer naturwissenschaftlichen Arbeitsmethode und deren Demonstration an konkreten Beispielen

Hierbei entscheidende Schritte:

- Definition und Klärung der verwendeten Begriffe
 - Wahl idealisierter Versuchsbedingungen durch Vernachlässigung bzw. Minimierung unwesentlicher Störeinflüsse
 - Einführung einer mathematischen Beschreibung, aus der sich experimentell überprüfbare Vorhersagen ergeben
 - Durchführung der Experimente
3. Veröffentlichungen in italienischer Sprache und in einfachem Stil

„In der gesamten Wissenschaftsgeschichte gibt es keinen Autor, der Galilei an Klarheit und Eleganz des Stils gleichkommt.“ Shmuel Sambursky

- 2. Die Gesetze der Bewegung
 - 2.1 Galileis Untersuchung des freien Falls
 - 2.2 Stoßvorgänge und Impulserhaltung
 - 2.3 Die Newtonschen Axiome und das Gravitationsgesetz
 - 2.4 Isaac Newton – Leben und Persönlichkeit
 - 2.5 Die Mathematisierung der Physik
 - 2.6 Leonard Euler und Lagrange – Biographien

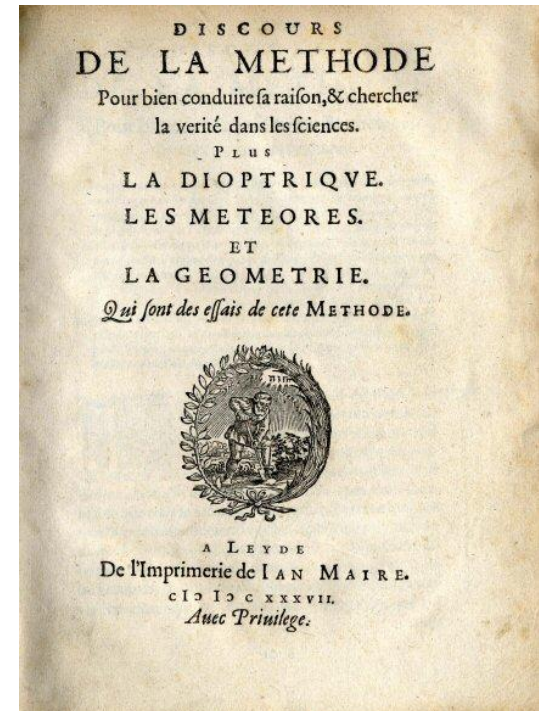


Titelblatt von Newtons „Principia Mathematica

René Descartes (1596 – 1650)



Portrait von Frans Hals (1580 – 1666)



Discours de la Méthode (1637)

René Descartes

- 1596 Geboren in der Touraine
- 1616 Abschluss seines Jurastudiums in Poitier
Danach ausgedehnte Reisen durch Europa, teils als Soldat
- 1625 Rückkehr nach Paris
- 1629 – 1649 Zurückgezogenes Leben in Holland, Anfertigung seiner wesentlichen Werke
- 1649 – 1650 Gast der schwedischen Königin Christine
- 1650 Tod in Stockholm



Descartes' universelle Methode zur Erforschung der Wahrheit

Sein Ziel war die Schaffung eines einheitlichen philosophischen Systems

Schritte auf dem Weg zur Suche der wissenschaftlichen Wahrheit:

- Anzweifeln überkommener Erkenntnisse, nur die Wahrheit der Mathematik ist über jeden Zweifel erhaben.
 - Die Naturwissenschaft sollte ähnlich wie die Mathematik aufgebaut werden
- Descartes musste eine klare und evidente Ausgangswahrheit finden; ausgehend vom Zweifel als einer Art des Denkens stellt er fest: „Cogito ergo sum“
Er folgerte die Existenz eines vollkommenen Wesens, das uns nicht hintergeht.
- Die Außenwelt ist keine Illusion
Unterscheidung verschiedener Sinneswahrnehmungen:
- klar und deutlich ist die Ausdehnung in 3 Dimensionen
 - täuschend sind Eigenschaften wie Farbe, Geruch, Wärmezustand

Für Descartes sind Ausdehnung und Bewegung primäre Eigenschaften der Materie

- eine Wechselwirkung zwischen Körpern ist nur bei Berührung möglich .
- Stoßprozesse und –gesetze haben in der kartesischen Naturphilosophie besondere Bedeutung.

Descartessche Stoßgesetze (Auswahl)

für den Stoß zweier vollkommen harter Körper

1. Wenn zwei gleiche Körper mit gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten zusammenstoßen, so laufen sie nach Ablauf des Stoßvorganges mit gleichen Geschwindigkeiten auseinander.

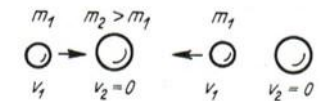
richtig

4. Wenn ein kleinerer Körper – gleich welcher Geschwindigkeit – auf einen größeren und ruhenden stößt, so prallt der kleinere zurück, während der größere weiterhin im Ruhezustand verharrt.

falsch

6. Wenn einer von zwei gleichen Körpern gegen den anderen ruhenden sich bewegt, so prallt der erstere mit verminderter Geschwindigkeit zurück, während der letztere eine entgegengesetzte Bewegung beginnt. ...

falsch



Fehlerursachen:

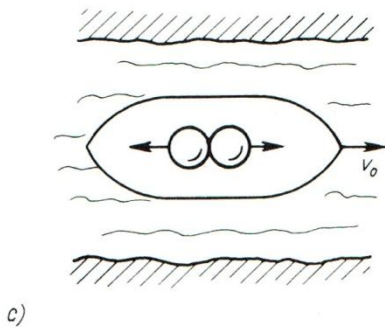
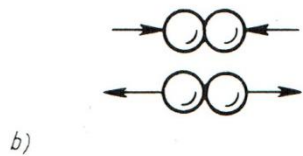
1. Keine Unterscheidung zwischen elastischen und unelastischen Stößen,
2. Keine Berücksichtigung des Vektorcharakters von Impuls bzw. Geschwindigkeit.

Christiaan Huygens – Stationen seines Lebens

- 1629 Geboren als Sohn einer angesehenen Familie in den Haag
- 1645 – 1649 Studium der Rechtswissenschaft und Mathematik in Leiden und Breda
- 1649 – 1666 bis auf einige Auslandsreisen Aufenthalt in den Haag, wissenschaftlich fruchtbarste Zeit seines Lebens.
- 1663 Aufnahme in die Royal Society als erster Ausländer
- 1666 Berufung nach Paris zur Gründung der Academie Royale des Sciences
- 1666 - 1681 Arbeit an der Pariser Academie.
- 1673 Veröffentlichung seines Hauptwerks „Horologium oscillatorium“.
- 1681 aus politisch-religiösen Gründen Rückkehr in die Niederlande
- 1689 Veröffentlichung der „Abhandlungen über das Licht“.
- 1695 Tod in den Haag.



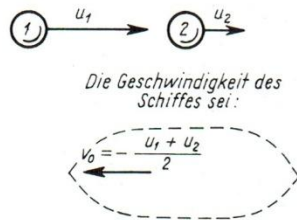
Huygenssche Grundannahmen zur Herleitung der Stoßgesetze



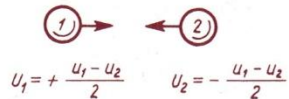
- Jeder beliebige sich bewegende Körper ist bestrebt, seine Bewegung geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit solange beizubehalten, bis er auf ein Hindernis stößt. (Vergleiche Newtons 1. Axiom)
- Stoßen zwei gleiche Kugeln mit gleichen, aber entgegengesetzt gerichteten Geschwindigkeiten zusammen, so kehrt sich nach dem Stoß ihre Bewegungsrichtung um, ohne dass sich der Betrag ihrer Geschwindigkeiten ändert.
- Die Stoßgesetze sind die gleichen für einen Beobachter auf einem Schiff, das sich mit einer beliebigen konstanten Geschwindigkeit bewegt, wie die für einen Beobachter am Ufer. (Vergleiche Galileis Relativitätsprinzip)

Von Huygens gegebene Beschreibung eines elastischen Stoßes, von zwei gleichförmig gegeneinander bewegten Systemen aus gesehen

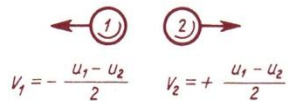
Zustand vor dem Stoß vom Schiff aus gesehen:



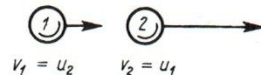
Zustand vor dem Stoß vom Ufer aus gesehen:



Zustand nach dem Stoß vom Ufer aus gesehen:



Zustand nach dem Stoß vom Schiff aus gesehen:



Elastischer Stoß zweier Körper gleicher Masse

Geschwindigkeit des Schwerpunkts, vom Schiff aus gesehen: $u_s = \frac{1}{2} (u_1 + u_2)$

Vom Ufer aus gesehen hat der Schwerpunkt die Geschwindigkeit $U_s = 0$

Die Niederlande im 17. Jahrhundert eine führende Nation in den Wissenschaften



Die Niederlande um 1620

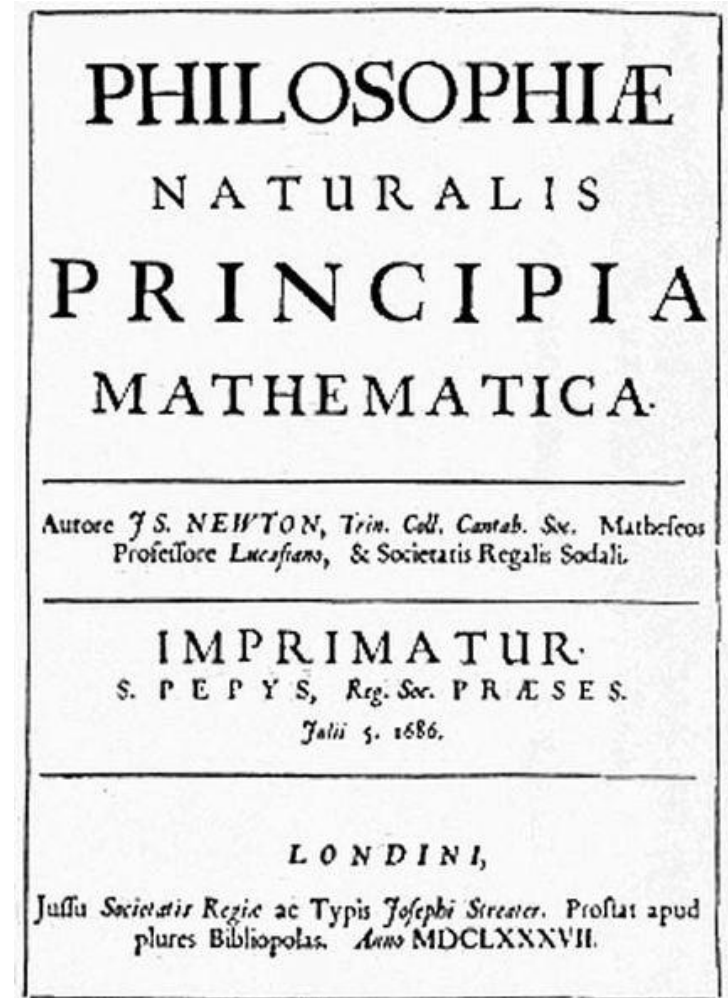
Geschichtlicher Hintergrund

- 1581 Unabhängigkeitserklärung der protestantischen Niederlande von Spanien
- 1648 Westfälischer Friede; u.a. Unabhängigkeit der Niederlande

In der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurden die Niederlande zu einer großen Seefahrernation:

- 1602 Ostindische Kompanie, Gewürzhandel
- 1605 Entdeckung Australiens
- 1614 Westindische Kompanie; Gründung von Neu-Amsterdam, später New York
- 1651 Erste Siedlung am Kap der guten Hoffnung

- 2. Die Gesetze der Bewegung
 - 2.1 Galileis Untersuchung des freien Falls
 - 2.2 Stoßvorgänge und Impulserhaltung
 - 2.3 Die Newtonschen Axiome und das Gravitationsgesetz
 - 2.4 Isaac Newton – Leben und Persönlichkeit
 - 2.5 Die Mathematisierung der Physik
 - 2.6 Leonard Euler und Lagrange – Biographien



Titelblatt von Newtons „Principia Mathematica

Newton's wichtigste wissenschaftliche Leistungen:

1. Gravitationskraft und die Gesetze der Bewegung, entdeckt um 1665, veröffentlicht 1687 in „Principia“
2. Die Zerlegung des Lichtes, entdeckt um 1675 veröffentlicht 1703 in „Opticks“
3. Differentialrechnung, entwickelt um 1675, Prioritätenstreit mit Leibniz

A X I O M A T A
S I V E
L E G E S M O T U S

Lex. I.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Projectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohaerendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatii minus resistentibus factos conservant diutius.

Lex. II.

Mutatioque motus proportionalem esse vi motrici impressae, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea movebatur, motus ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adicitur, & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.

Lex. III.

Axiome oder Gesetze der Bewegung

Gesetz I

Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleich-förmigen Translation, sofern er nicht durch einwirkende Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.

Gesetz II

Die Änderung der Bewegung ist proportional zur wirkenden Kraft und erfolgt längs der Geraden, in welcher die Kraft wirkt.

Gesetz III

Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets von entgegengesetzter Richtung.

Vergleich Aristoteles – Newton: Die Rolle der Reibung

Aristoteles: $v \sim F$ Newton: $dv/dt \sim F$

„Aristoteles“ ist der Grenzfall von „Newton“ bei starker Reibung

Für die Reibungskraft $F_R = -k \cdot v$ folgt aus der Newtonschen Bewegungsgleichung

$$m \cdot d v/dt = F - k \cdot v$$

die Grenzggeschwindigkeit

$$v_G = F/k$$

Das ist die Relation von Aristoteles. Er aber hat die Reibung nicht als Kraft erkannt.

Newtons Apfel-Geschichte von seiner Entdeckung des Gravitationsgesetzes



Ableitung des Gravitationsgesetzes

Zentripetalkraft bei einer Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit:

$$F_z = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

wobei $\omega = 2\pi/T$

Im Gleichgewicht gilt $F_z = \text{Gravitationskraft} = F_G$

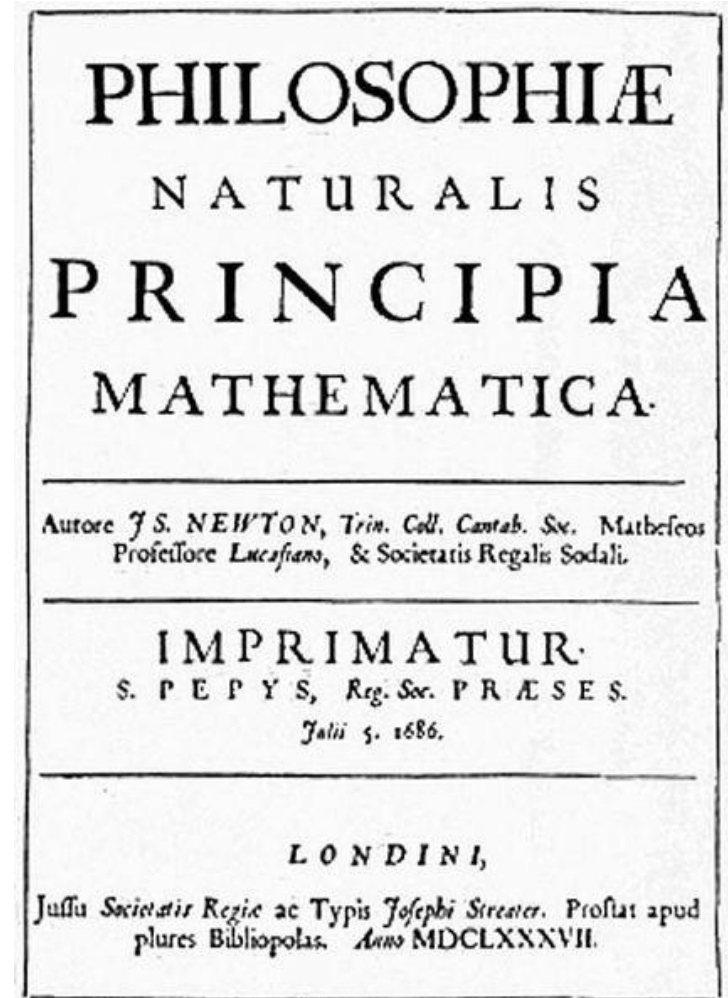
mithilfe Keplers 3. Gesetz: $T^2/R^3 = \text{const.}$

$$F_z = m \cdot (2\pi/T)^2 \cdot R \sim m R / T^2 \sim m R / R^3 \sim m/R^2 \sim F_G$$

Auf der Erde $= m \cdot g$; $g = G \cdot M_S / (R_E)^2$

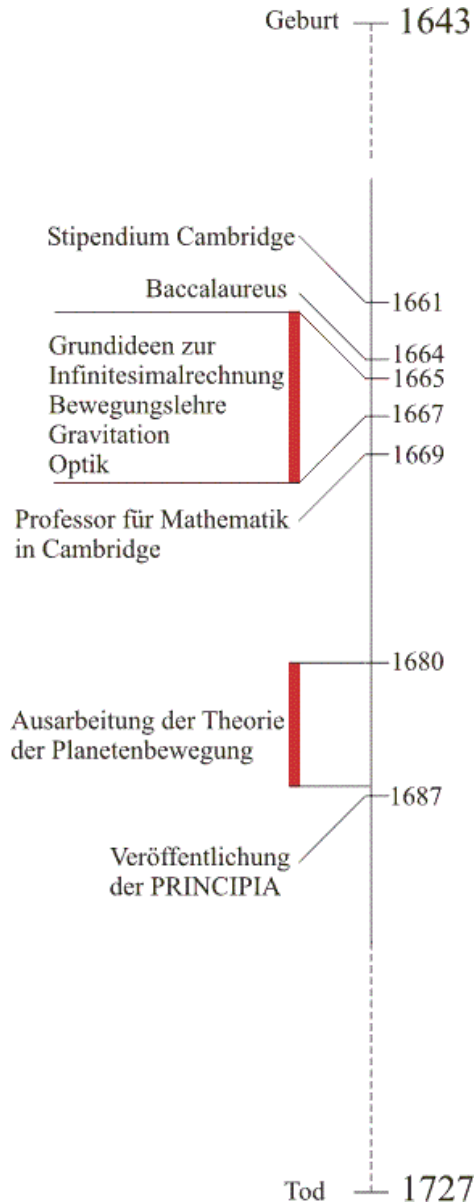
$$F_G = m \cdot g (R_E/R)^2$$

- 2. Die Gesetze der Bewegung
 - 2.1 Galileis Untersuchung des freien Falls
 - 2.2 Stoßvorgänge und Impulserhaltung
 - 2.3 Die Newtonschen Axiome und das Gravitationsgesetz
 - 2.4 Isaac Newton – Leben und Persönlichkeit
 - 2.5 Die Mathematisierung der Physik
 - 2.6 Leonard Euler und Lagrange – Biographien



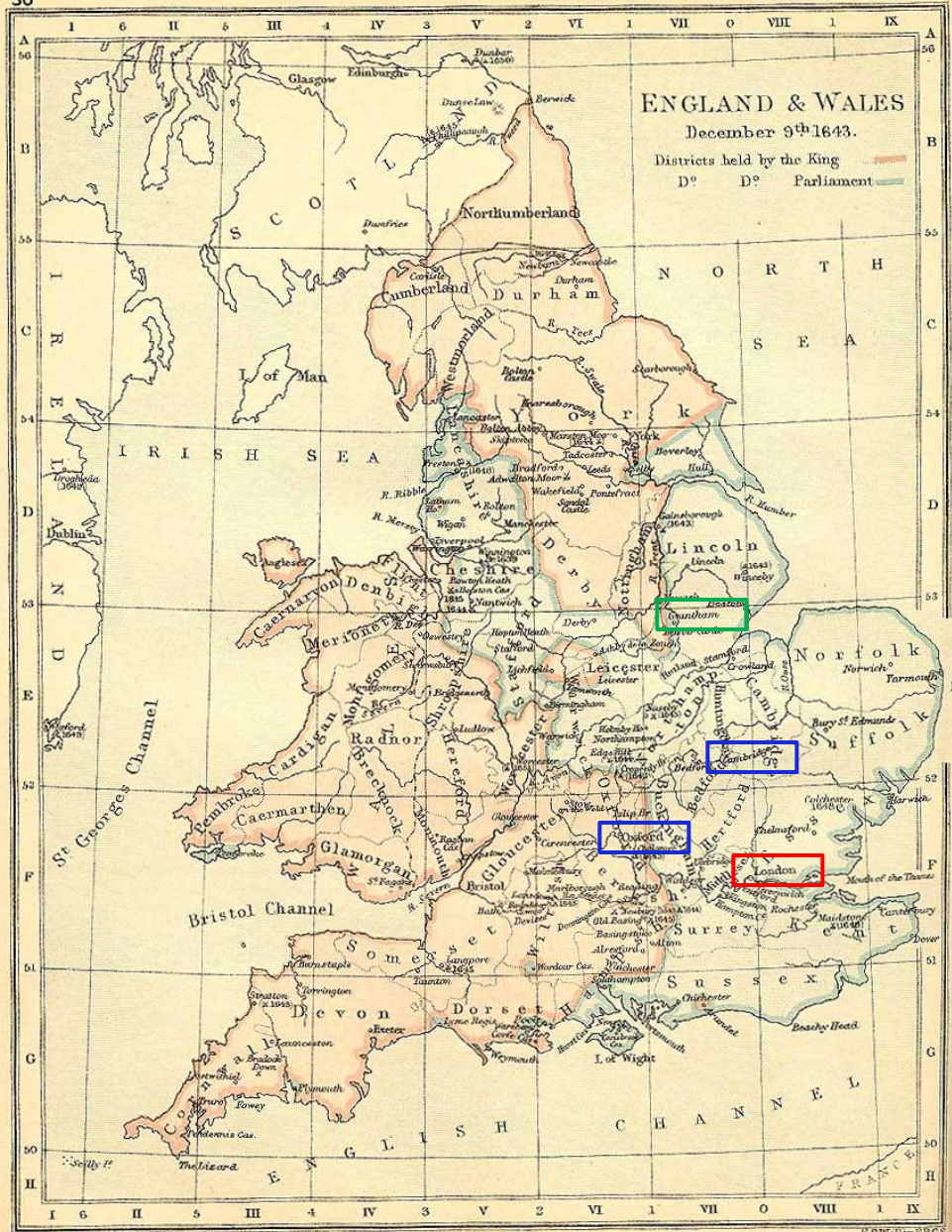
Titelblatt von Newtons „Principia Mathematica

Zeittafel Newtons



Geschichtlicher Hintergrund

- 1642 – 49: Bürgerkrieg
- 1649: Sieg Oliver Cromwells, Hinrichtung des Königs Karl I.
- 1649 – 60: England Republik unter Cromwell
- 1660 – 88: Wiederaufstieg der Stuarts (Karl II. und Jakob II.), Versuch der Errichtung eines absolutistischen Staats
- 1688: Glorious Revolution; Maria II. und Wilhelm III. von Oranien besteigen den Thron.
- 1688: Bill of rights, Sicherung der Rechte des Parlaments, England wird konstitutionelle Monarchie
- 1707: England und Schottland bilden das Königreich Großbritannien



England im Jahre 1643



Newton im Jahre 1689
Portrait von Godfrey Kneller



Newton im Alter von 69 Jahren
Portrait von Sir James Thornhill

Isaac Newton

Jugend und Studienjahre

- 1643 Geboren in Woolthorpe, Lincolnshire; ein Jahr nach Galileis Tod
- 1661 Studienbeginn im Trinity College in Cambridge.
- 1665 – 1667 Newtons Wunderjahre (Anni mirabiles)

Professor in Cambridge

- 1669 Nachfolger seines Lehrers Barrow auf dem Lucasischen Lehrstuhl
- 1672 Bau eines Spiegelteleskops, daraufhin Mitglied der Royal Society,
- 1687 Veröffentlichung der „Principia“

Die Zeit in London

- 1689 Vertreter der Universität Cambridge im Parlament
- 1693 Ende seiner wissenschaftlichen Arbeit in Cambridge
- 1696 Aufseher , später Leiter der königlichen Münze
- 1703 Präsident der Royal Society
- 1705 Erhebung in den Adelstand
- 1727 Tod und Beisetzung in der Westminster Abbey



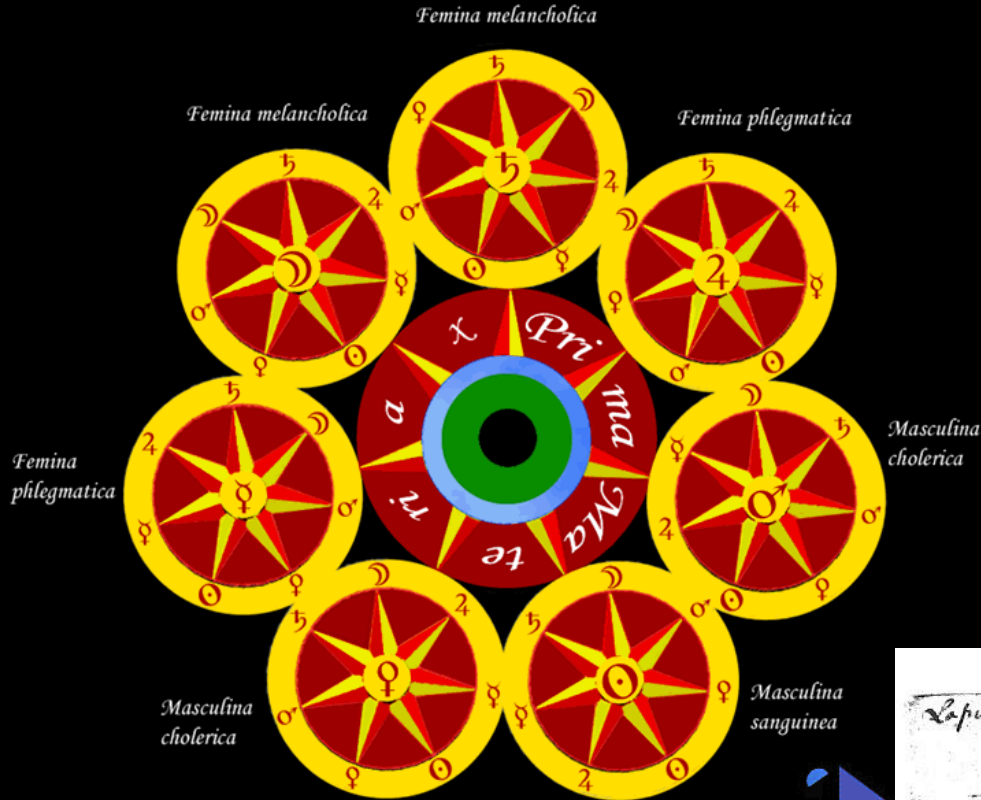
Personal coat of arms
of Sir Isaac Newton

Trinity College Cambridge



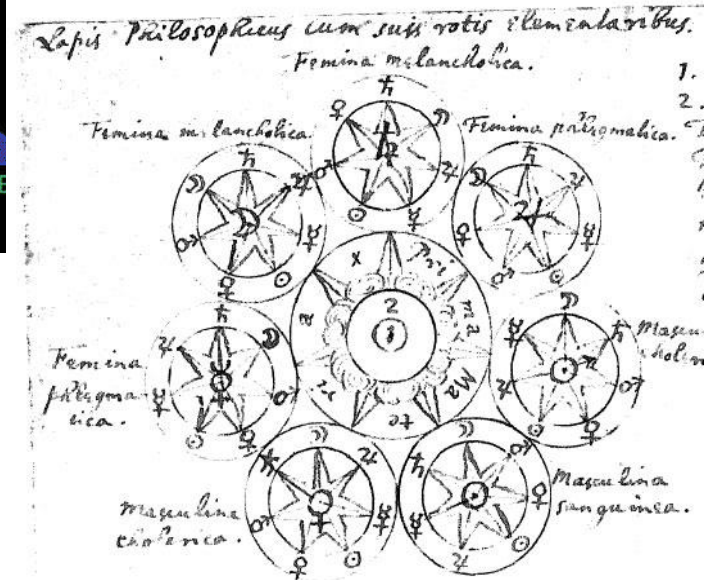
Moderne Aufnahme des Gebäudes.
Die Fenster zu Newtons Räumen befinden sich links vom Tor oberhalb des Busches

Lapis Philosophicus cum suis rotis elementaribus



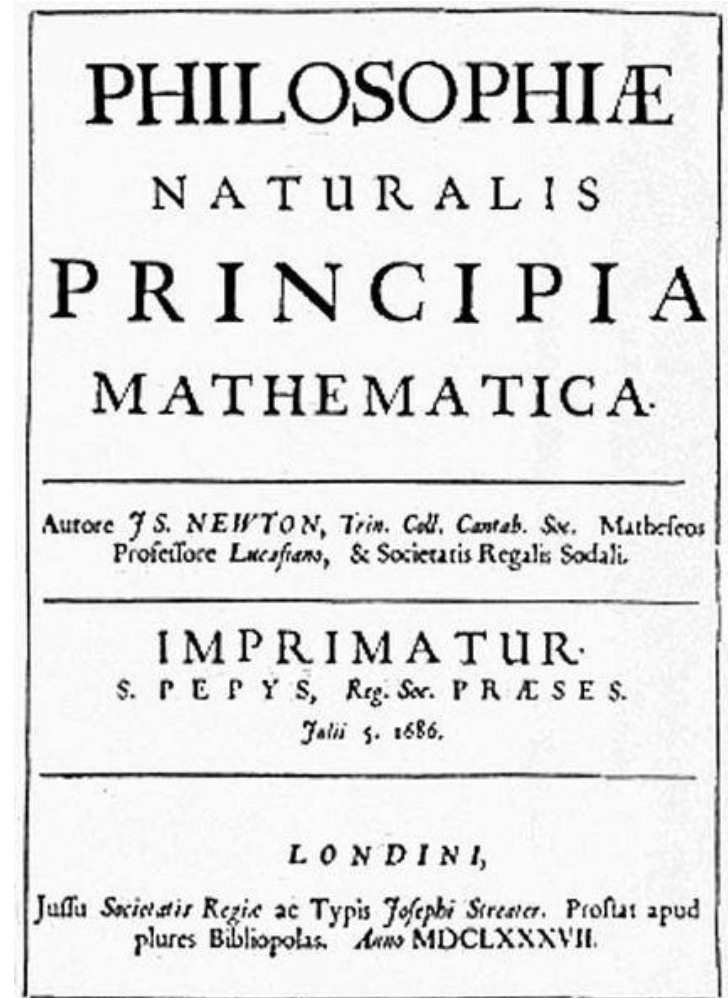
© 2003 World-Mysteries.com

WORLD-MYSTERIES



Der Stein der Weisen

- 2. Die Gesetze der Bewegung
 - 2.1 Galileis Untersuchung des freien Falls
 - 2.2 Stoßvorgänge und Impulserhaltung
 - 2.3 Die Newtonschen Axiome und das Gravitationsgesetz
 - 2.4 Isaac Newton – Leben und Persönlichkeit
 - 2.5 Die Mathematisierung der Physik
 - 2.6 Leonard Euler und Lagrange – Biographien



Titelblatt von Newtons „Principia Mathematica

Die Mathematisierung der Mechanik

„Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben.“(Galilei)

1. Gottfried Leibniz (1646 - 1716) und Isaac Newton (1642 - 1727): Die Erfindung der Differential- und Integralrechnung
2. Leonhard Euler (1707 – 83): Formulierung der Newtonschen Bewegungsgleichung als Differentialgleichung, Behandlung starrer Körper und Flüssigkeiten
3. Pierre Fermat (1601 -1665): Erstes Variationsprinzip in der Physik
4. Louis Lagrange (1736 - 1813): Formulierung der Mechanik mithilfe eines Variationsprinzips
5. William Hamilton (1805 – 1865): Formulierung der Mechanik mit Hilfe der Größen Ort und Impuls → Quantenmechanik

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 in Leipzig – 1716 in Hannover)

Philosoph, Mathematiker und Physiker, Diplomat, Politiker und Bibliothekar - einer der wichtigsten Vordenker der Aufklärung. Zeitgenosse von Newton.

Einige seiner Leistungen in der Mathematik

Konvergenz der Reihe: $1 - 1/3 + 1/5 - \dots = \pi/4$

Entdeckung der Infinitesimalrechnung mit den Notationen df/dx und $\int dx$.

Hässlicher Prioritätenstreit mit Newton

Erfindung einer mechanischen Rechenmaschine



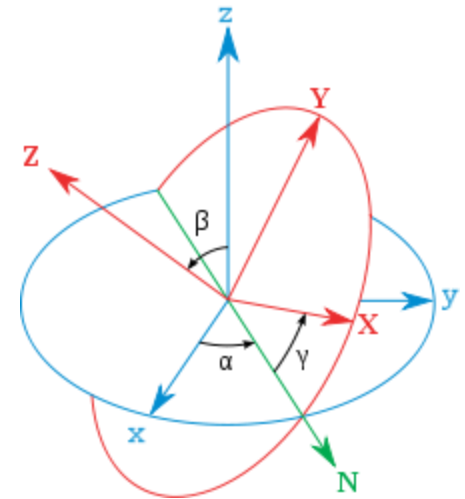
„Beim Erwachen hatte ich schon so viele Einfälle, dass der Tag nicht ausreichte, um sie niederzuschreiben.“

Einige Leistungen Eulers in der Physik:

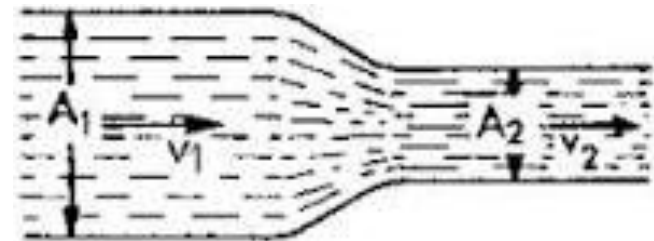
1. Bewegungsgleichungen als Differentialgleichungen:

$$M \cdot d^2x(t)/dt^2 = F_x, \quad M \cdot d^2y(t)/dt^2 = F_y, \quad M \cdot d^2z(t)/dt^2 = F_z$$

2. Bewegung starrer Körper: Trägheitsmomente, Kreiseltheorie und Eulersche Winkel



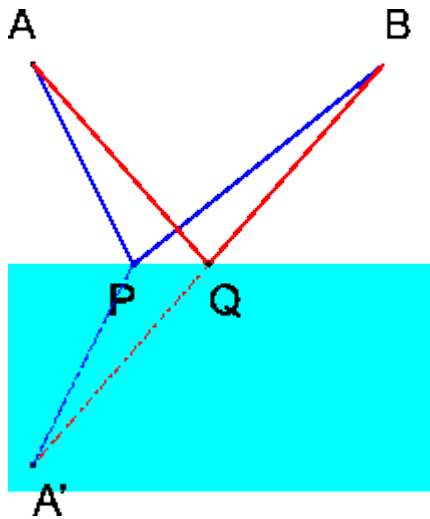
3. Bewegung von Flüssigkeiten, Eulersche Gleichung, darunter die Kontinuitätsgleichung



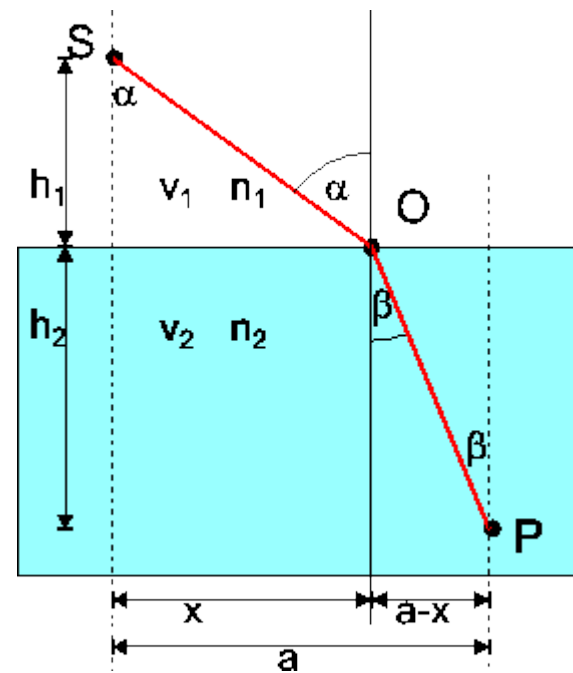
Das Prinzip von Fermat (1601 -1665): das erste Variationsprinzip in der Physik

Der Weg, den das Licht nimmt, um von einem Punkt zu einem anderen zu gelangen, ist stets so, dass die benötigte Zeit minimal ist. Geschwindigkeit $v = c/n$

$$t = \int_{s_1}^{s_2} \frac{n(s)}{c} ds = \frac{1}{c} \int_{s_1}^{s_2} n(s) ds$$



Reflexionsgesetz



Brechungsgesetz

Lagrange-Gleichungen

Lagrange Funktion $L = T - U$

Lagrange Gleichungen 2. Art:
$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0.$$

Hamiltonsches Prinzip:
$$\delta W = \delta \int dt L(q, \dot{q}, t) = \int dt (L(q + \delta q, \dot{q} + \delta \dot{q}, t) - L(q, \dot{q}, t)) \stackrel{!}{=} 0.$$

Aristoteles unterscheidet *causa efficiens* (Wirkursache) von der *causa finalis* (Zweckursache)

Beispiel aus dem tägl. Leben: „Der Vater ist die *Wirkursache* des Kindes; die Gesundheit ist Zweckursache des Sportes.“

Beispiel aus der Physik: Kräfte sind die Wirkursachen für Bewegungen,
Minimierung des Wirkungsintegrals ist eine Zweckursache von Bewegungen .

Die Rolle der Akademien bei der Verbreitung der wissenschaftlichen Erkenntnisse:

- 1603: Accademia dei Lincei in Rom (→ Galilei)
- 1657: Accademia del Cimento in Florenz
- 1660: Royal Society in London (→ Newton, Herausgabe der Philosophical Transactions)
- 1666 Académie des Sciences in Paris (→ Huygens)
- 1700 Kurfürstlich-Brandenburgische Societät der Wissenschaften in Berlin (→ Leibniz), ab 1701 Königlich-Preußische Sozietät der Wissenschaften, ab 1744 Königliche Akademie der Wissenschaften
- 1724 Russische Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg

Leonard Euler (1707 – 1783)

- 1707 geboren in Basel, Vater Pfarrer
- 1720 Beginn des Mathematikstudiums in Basel, u.a. bei Johann Bernoulli
- 1727 Berufung nach St. Petersburg, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, später Professor für Mathematik
- 1741 Einladung Friedrichs des Großen, später Direktor für Mathematik an der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften in Berlin
- 1766 Rückkehr nach St. Petersburg, baldige Erblindung
- 1783 Tod in St. Petersburg



Pastell von E. Handmann, 1753

Geschichtliches Umfeld:

- 1672 – 1725 Peter der Große, ab 1682 Zar, ab 1721 Kaiser von Russland
- 1684 – 1727 Katharina I., ab 1725 Kaiserin von Russland
- 1712 – 1786 Friedrich der Große, ab 1740 König von Preußen