Grenzen der Klassischen Mechanik

M. Jakob

Gymnasium Pegnitz

10. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Galileo Galilei — Das Experiment

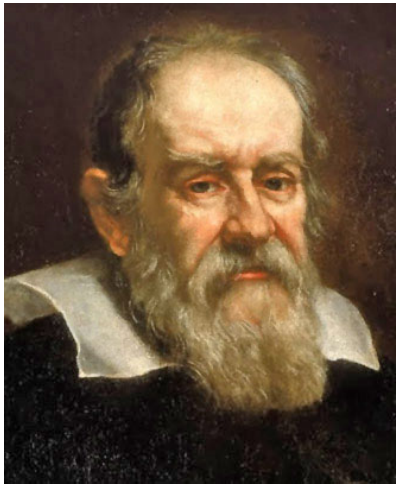

Abbildung :
Galileo Galilei
(1564 –1642)

Galileo Galilei — Das Experiment

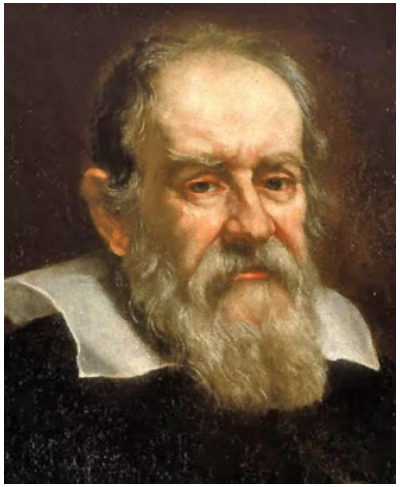

Abbildung :
Galileo Galilei
(1564 –1642)

„Ich fühle mich nicht zu dem Glauben verpflichtet, dass derselbe Gott, der uns mit Sinnen, Vernunft und Verstand ausgestattet hat, von uns verlangt, dieselben nicht zu benutzen.“

Galileo Galilei — Das Experiment

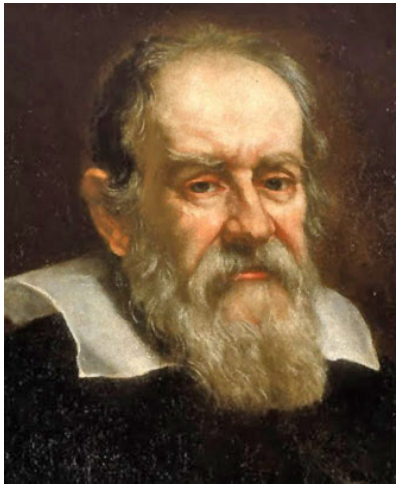

Abbildung :
Galileo Galilei
(1564 –1642)

„Alles messen, was messbar ist — und messbar machen, was noch nicht messbar ist.“

Galileo Galilei — Das Experiment

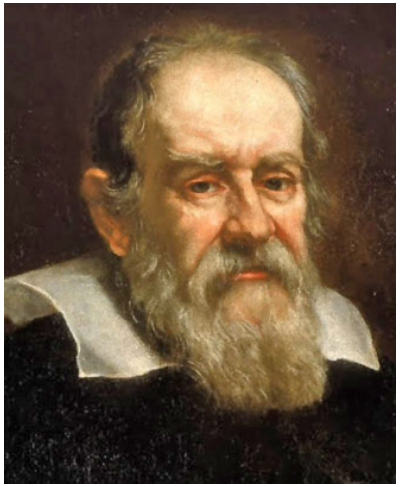

Abbildung : Galileo Galilei (1564 –1642)

Kerngedanke

Man kann Erkenntnisse über die Natur erhalten, indem man im Experiment den dazugehörigen Vorgang vereinfacht nachbaut und die daraus gewonnenen Erkenntnisse mit der Wirklichkeit abgleicht.

René Descartes — Das logische Schließen

Abbildung : René Descartes (1596–1650)

René Descartes — Das logische Schließen

Abbildung : René Descartes (1596–1650)

„cogito ergo sum.“

René Descartes — Das logische Schließen

Abbildung : René Descartes (1596–1650)

Kerngedanke

Die Natur ist zwar gottgegeben, aber durch Naturgesetze geregelt. Diese Naturgesetze kann der Mensch erkennen und beherrschen. Dabei wird nur das als richtig akzeptiert, was durch schrittweise Analyse und logische Reflexion überprüft werden kann. Wunder sind ausgeschlossen.

Isaac Newton — Das universelle Kraftgesetz

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

Isaac Newton — Das universelle Kraftgesetz

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

Kernerkenntnis

Die physikalischen Gesetze sind überall im Universum gleich. Die Bewegung der Planeten hat die gleiche Ursache, wie das Fallen eines Apfels von einem Baum.

Erfolg der Newton'schen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

Erfolg der Newton'schen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

Erfolg der Newton'schen Mechanik

Die Newton'sche (klassische) Mechanik konnte 300 Jahre lang widerspruchsfrei nahezu alle physikalischen Phänomene erklären und war damit wesentliche Voraussetzung unserer technischen Entwicklung. Die Fortschritts- und Erkenntnisgläubigkeit war grenzenlos.

Der Laplace'sche Dämon

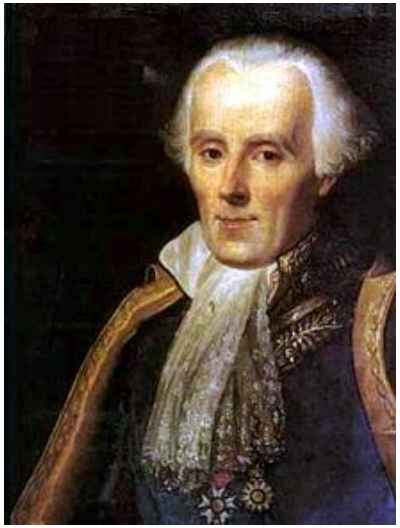

Abbildung : Pierre-Simon Laplace (1749–1827)

Der Laplace'sche Dämon

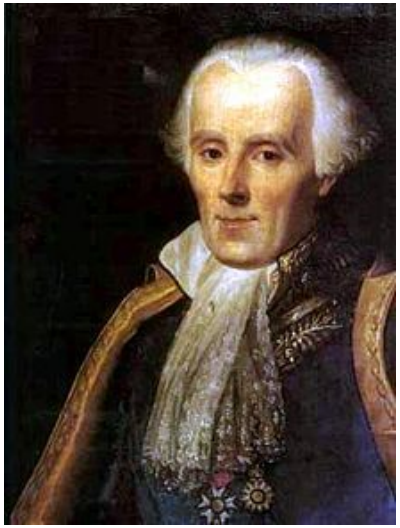

Abbildung : Pierre-Simon Laplace (1749–1827)

„Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge eines früheren Zustandes ansehen und als Ursache des Zustandes, der danach kommt. Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kennt, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“

Der Laplace'sche Dämon

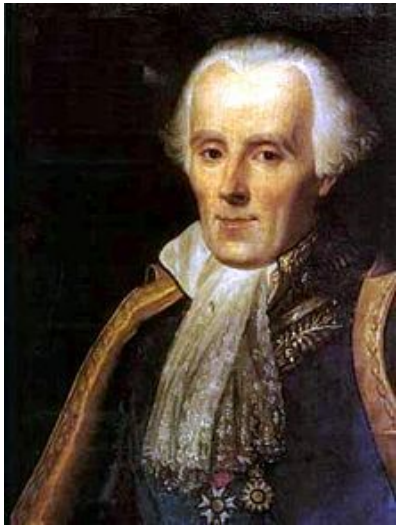

Abbildung : Pierre-Simon Laplace (1749–1827)

„Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge eines früheren Zustandes ansehen und als Ursache des Zustandes, der danach kommt. Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kennt, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“

Der Laplace'sche Dämon

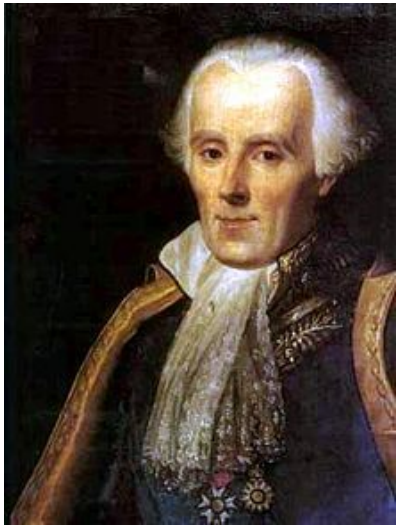

Abbildung : Pierre-Simon Laplace (1749–1827)

„Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Universums als Folge eines früheren Zustandes ansehen und als Ursache des Zustandes, der danach kommt. Eine Intelligenz, die in einem gegebenen Augenblick alle Kräfte kennt, mit denen die Welt begabt ist, und die gegenwärtige Lage der Gebilde, die sie zusammensetzen, und die überdies umfassend genug wäre, diese Kenntnisse der Analyse zu unterwerfen, würde in der gleichen Formel die Bewegungen der größten Himmelskörper und die des leichtesten Atoms einbegreifen. Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.“

Determinismus und Kausalität

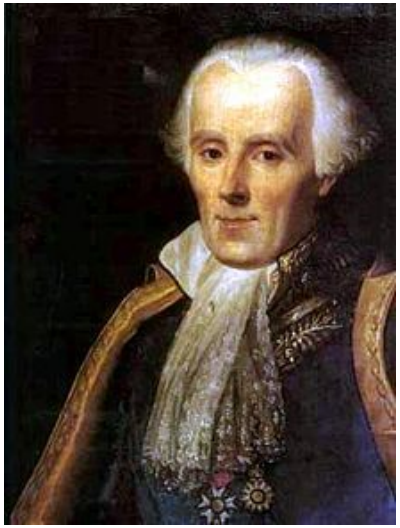

Abbildung : Pierre-Simon Laplace (1749–1827)

Determinismus und Kausalität

Die klassischen Physik ist deterministisch, d.h. der Zustand, den ein Systems zu einer bestimmten Zeit hat, kann stets exakt berechnet werden, wenn man seine Anfangsbedingungen und die Naturgesetze kennt.
Das heißt insbesondere: Es herrscht ein kausaler Zusammenhang von Gegenwart und Zukunft.

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Deterministisches Chaos

Abbildung : Henri Poincaré (1854 -1912)

Deterministisches Chaos

Abbildung : Henri Poincaré (1854 -1912)

„Selbst wenn es kein Geheimnis in den Naturgesetzen mehr gäbe, so könnten wir die Anfangsbedingungen doch nur annähernd bestimmen. Wenn uns dies ermöglichen würde, die spätere Situation in der gleichen Näherung vorherzusagen[,]. . . so würden wir sagen, dass das Phänomen vorhergesagt worden ist[.]. . . Aber es ist nicht immer so; es kann vorkommen, dass kleine Abweichungen in den Anfangsbedingungen große Unterschiede in den Phänomenen erzeugen. Ein kleiner Fehler zu Anfang wird später einen großen Fehler zur Folge haben. Vorhersagen werden unmöglich, und wir haben ein zufälliges Ergebnis.“

Deterministisches Chaos

Abbildung : Henri Poincaré (1854 -1912)

„Selbst wenn es kein Geheimnis in den Naturgesetzen mehr gäbe, so könnten wir die Anfangsbedingungen doch nur annähernd bestimmen. Wenn uns dies ermöglichen würde, die spätere Situation in der gleichen Näherung vorherzusagen[,]. . . so würden wir sagen, dass das Phänomen vorhergesagt worden ist[.]. . . Aber es ist nicht immer so; es kann vorkommen, dass kleine Abweichungen in den Anfangsbedingungen große Unterschiede in den Phänomenen erzeugen. Ein kleiner Fehler zu Anfang wird später einen großen Fehler zur Folge haben. Vorhersagen werden unmöglich, und wir haben ein zufälliges Ergebnis.“

Experimente zum Deterministischen Chaos

Versuch: Chaotisches Pendel
- Doppelpendel

Versuch: Magnetpendel
- Versuch: Chaotisches Magnetpendel 1
- Versuch: Chaotisches Magnetpendel 2
- Versuch: Chaotisches Magnetpendel 3

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

„Die absolute, wahre mathematische Zeit verfließt gleichförmig und ohne Beziehung zu einem Gegenstand.'"

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.
- Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.

▸ Starke und schwache Kausalität

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.
- Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
  - Starke und schwache Kausalität
- Die Masse eines Körpers ist konstant.

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.
- Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
  - Starke und schwache Kausalität
- Die Masse eines Körpers ist konstant.
- Ort und Impuls können unabhängig und präzise gemessen werden.

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.
- Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
  - Starke und schwache Kausalität
- Die Masse eines Körpers ist konstant.
- Ort und Impuls können unabhängig und präzise gemessen werden.
- Messwerte sind vom Beobachter unabhängig.

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.
- Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
  - Starke und schwache Kausalität
- Die Masse eines Körpers ist konstant.
- Ort und Impuls können unabhängig und präzise gemessen werden.
- Messwerte sind vom Beobachter unabhängig.
- Massenpunkte existieren.

Voraussetzungen der klassischen Mechanik

Abbildung :
Isaac Newton
(1642–1727)

- Raum und Zeit sind absolut und homogen.
- Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen.
  - Starke und schwache Kausalität
- Die Masse eines Körpers ist konstant.
- Ort und Impuls können unabhängig und präzise gemessen werden.
- Messwerte sind vom Beobachter unabhängig.
- Massenpunkte existieren.
- Es gibt keine maximale Geschwindigkeit.

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Befunde gegen die Klassische Mechanik

Grenzen der Newton'schen Mechanik

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden erhebliche Widersprüche in der klassischen Mechanik sichtbar und die plausiblen und landläufigen Annahmen über Raum und Zeit in Frage gestellt.

Befunde gegen die Klassische Mechanik

Grenzen der Newton'schen Mechanik

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden erhebliche Widersprüche in der klassischen Mechanik sichtbar und die plausiblen und landläufigen Annahmen über Raum und Zeit in Frage gestellt.

Experimentelle Befunde, gegen die Klassische Mechanik:

- Konstanz der Lichtgeschwindigkeit Messung der Lichtgeschwindigkeit ➥
- Periheldrehung des Merkur, Erklärung Periheldrehung ➥
- Teilcheneingenschaft des Lichtes,
- Welleneigenschaften der Elektronen,
- Bohr'sches Atommodell.

Übung

Ü 11: Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

Erstelle jeweils ein Versuchsprotokoll zu dem angegebenen Versuch. Geh bei der Auswertung auch auf mögliche Fehlerquellen ein.

(a) Lichtgeschwindigkeitsmessung nach O. Römer: Verwende zur Auswertung die historischen Messwerte aus Aufgabe 2 guckst du "'Lichtgeschwindigkeit-Die astronomische Methode von Römer"' ➥

(b) Lichtgeschwindigkeitsmessung nach Fizeau: guckst du "'Lichtgeschwindigkeit-Die terrestrische Methode von Fizeau"' ➥

Übung

Ü 12: Periheldrehung/Apsidendrehung

(a) Erkläre, was man unter der Periheldrehung des Merkur versteht, wann sie auftritt und warum sie dem Newton'schen Kraftgesetz widerspricht. Verwende die Animation ➥

(b) Informiere dich im Internet, welche Ursachen die Periheldrehung bzw. Apsidendrehung der Planeten haben, und warum gerade die des Merkur so groß ist.

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Determinismus „im Blut“

- Einsteinexperiment

Determinismus „im Blut“

Einsteinexperiment

Determinismus „im Blut“

Zumindest in unserem Kulturkreis haben Menschen den Drang alles erklären und verstehen zu wollen.
Naturwissenschaftliches und deterministisches Argumentieren wird deshalb im Alltag oft benutzt, um Menschen Wissenschaftlichkeit oder Gewissheit vorzutäuschen, wo diese überhaupt nicht vorzufinden ist.

Beispiele für pseudowissenschaftliche Erklärungsmuster

- Jeder Form der Esoterik (Horoskope, Wahrsagerei)
- religiöser Fundamentalismus
- Wirksamkeit von medizinischen Heilverfahren und Nahrungsergänzungsmittel
- Untersuchungen haben ergeben ...
- (Viele) Wissenschaftler sagen ...

Psychologische Barrieren gegen objektives Denken

Psychologische Barrieren gegen objektives Denken

- Menschen suchen Muster, wo es keine gibt (z.B. in Wolken oder in Sternbildern).
- Kausalzusammenhänge, wo es keine gibt (z.B. bei Horoskopen)
- Wir überbewerten Informationen, die eine gegebene Vermutung bestätigen (z.B. im Aberglauben oder in Vorurteilen)
- Autoritätsgläubigkeit (Untersuchungen haben ergeben, Wissenschaftler haben bewiesen)

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Konstanz der Vakuumlichteschwindigkeit

Konstanz der Vakuumlichteschwindigkeit

Unter den vielen unverständlichen Widersprüchen, die von etwa 100 Jahren in der Physik auftauchten, war besonders die Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit vor großer Bedeutung.

Übungen

Ü 21: Einführung in die SRT 1, Text zusammenfassen ➥
Ü 22: Einführung in die SRT 2, Text zusammenfassen ➥

Annahmen der speziellen Relativitätstheorie

Das Relativitätsprinzip

In Bezugssystemen, die sich mit konstanter Geschwindigkeit zueinander bewegen, gelten die physikalischen Gesetze in gleicher Weise.

Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

Die Lichtgeschschwindigkeit im Vakuum ist stets gleich und zwar unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle und des Beobachters.

Inertialsysteme ➥

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie

Längenkontraktion

Körper, die sich relativ zu einem Beobachter schnell bewegen, erscheinen für diesen in Bewegungsrichtung verkürzt.

Effekte ➥

Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie

Zeitdilitation

Uhren, die sich relativ zu einem Beobachter schnell bewegen, gehen für diesen Beobachter langsamer.

Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie

relativistische Massenzunahme

Ein Körper wird mit wachsender Geschwindigkeit immer schwerer.

Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie

Die bekannteste Formel der Welt

Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie

Die bekannteste Formel der Welt

$$E = mc^2$$

Relativistische Fahradfahrt ➥
Raumkrümmung ➥

In diesem Abschnitt

1. Kausalität
   - Die Fundamente der Klassischen Physik
   - Kritik an der Klassischen Mechanik
   - Zusammenbruch der klassischen Mechanik
   - Kausalität und deterministisches Denken im Alltag
2. Spezielle Relativitätstheorie
   - Annahmen der Speziellen Relativitätstheorie
   - Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie
   - Popstar Einstein

Popstar Einstein

Popstar Einstein

- Er ist der Inbegriff des Forschers und Genies,

Popstar Einstein

- Er ist der Inbegriff des Forschers und Genies,
- war ein Querdenker,

Popstar Einstein

- Er ist der Inbegriff des Forschers und Genies,
- war ein Querdenker,
- engagierte sich für Völkerverständigung,

Popstar Einstein

- Er ist der Inbegriff des Forschers und Genies,
- war ein Querdenker,
- engagierte sich für Völkerverständigung,
- kämpfte für einen Weltfrieden,

Popstar Einstein

- Er ist der Inbegriff des Forschers und Genies,
- war ein Querdenker,
- engagierte sich für Völkerverständigung,
- kämpfte für einen Weltfrieden,
- war bekennender Pazifist, Sozialist und Zionist.

Lebenslauf I

1879 Albert Einstein wird am 14. März als Kind der jüdischen Eheleute Hermann und Pauline Einstein in Ulm geboren.

1905 Einstein veröffentlicht vier bahnbrechende Arbeiten, die die Grundlagen der Physik um 1900 revolutionieren.

1914 Am 1. August bricht der Erste Weltkrieg aus. Einstein beginnt sich intensiv mit Politik zu beschäftigen.

1916 Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie werden veröffentlicht.

1920 Antisemitistische Äußerungen gegen die Relativitätstheorie und Einstein häufen sich.

Lebenslauf II

1921 Einstein besucht gemeinsam mit Chaim Weizmann die USA. Er hält auch vier Vorlesungen an der Universität in Princeton.

1922 Einstein wird der Nobelpreis für Physik zuerkannt. Er erhält den Preis nicht für seine Relativitätstheorie, sondern für seine Entdeckung des Gesetzes des photoelektrischen Effekts.

1923 Einstein besucht Palästina und wird erster Ehrenbürger von Tel Aviv.

1926 Die Grundzüge der Quantenmechanik werden ausgearbeitet. Einstein äußert sein Unbehagen.

1932 Erneute Reise in die USA. Durch die Geschehnisse in Nazi-Deutschland betritt er danach nie wieder deutschen Boden.

Lebenslauf III

1939 Einstein unterzeichnet einen Brief an den amerikanischen Präsidenten Franklin D. Roosevelt, um ihn auf den möglichen Bau einer Atombombe, hinzuweisen.

1941 In Amerika beginnt im November das „Manhattan Project“ mit der Aufgabe eine Atombombe zu entwickeln. Einstein wird als Sicherheitsrisiko angesehen und ist nicht beteiligt.

1945 Einstein ist geschockt und tief berührt von der Nachricht der beiden Atombombenabwürfe.

1947 Einstein intensiviert seine Aktivitäten für eine Rüstungskontrolle und eine Weltregierung.

1952 Nach dem Tode von Chaim Weizmann wird Einstein die Präsidentschaft Israels angetragen. Er lehnt jedoch ab.

Lebenslauf IV

1955 In einem Brief fordern Einstein und Bertrand Russell alle Nationen zum Verzicht auf Kernwaffen auf. Dieser Brief begründet die internationale Pugwash-Bewegung, die 1995 den Friedensnobelpreis erhielt.
Albert Einstein stirbt am 18. April in Princton.

Zitate

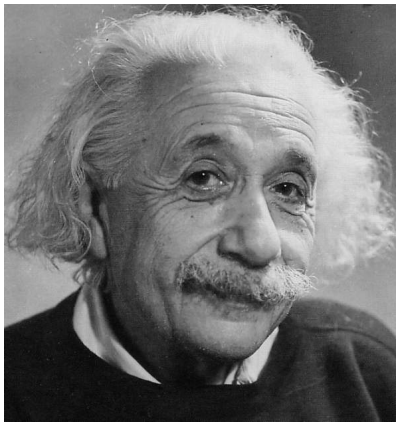

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Zwei Dinge sind unendlich, das Universum und die menschliche Dummheit, aber bei dem Universum bin ich mir noch nicht ganz sicher."'

Zitate

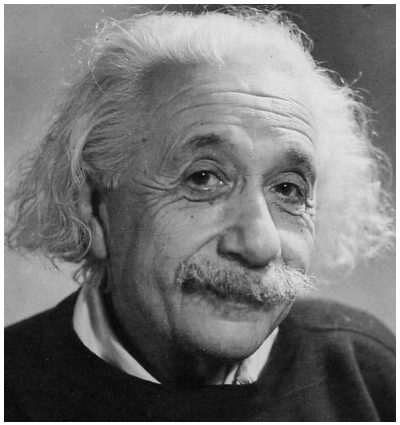

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Seit die Mathematiker über die Relativitätstheorie hergefallen sind, verstehe ich sie selbst nicht mehr."'

Zitate

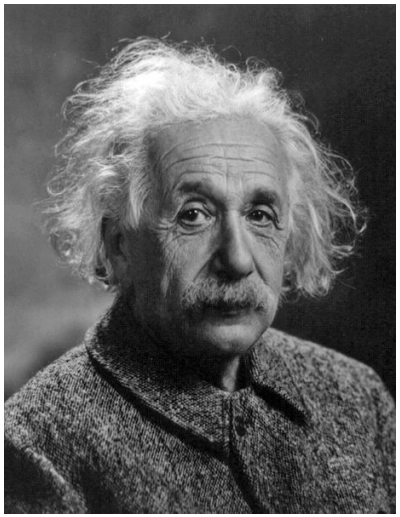

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Die Welt wird nicht bedroht von den Menschen, die böse sind, sondern von denen, die das Böse zulassen."'

Zitate

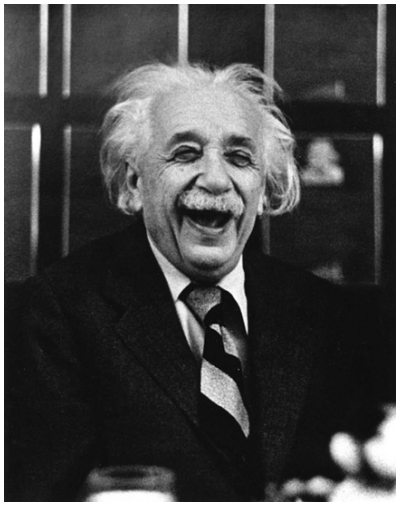

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Mach' dir keine Sorgen wegen deiner Schwierigkeiten mit der Mathematik. Ich kann dir versichern, dass meine noch größer sind."'

Zitate

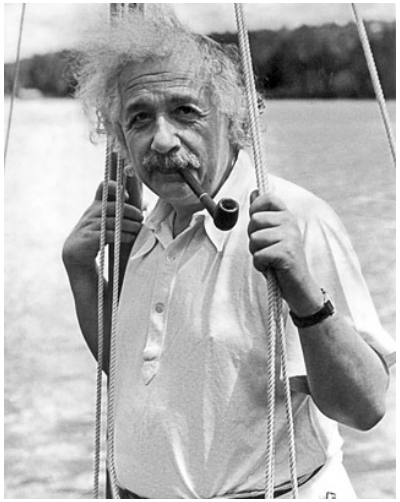

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Ich habe keine besondere Begabung, sondern bin nur leidenschaftlich neugierig."'

Zitate

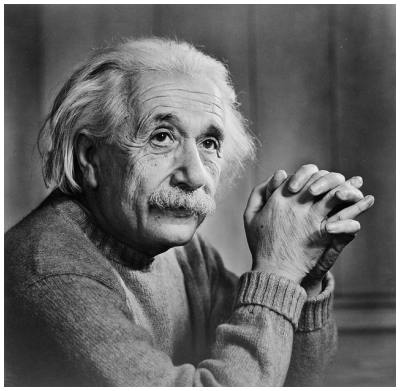

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"“Wenn einer mit Vergnügen zu einer Musik in Reih und Glied marschieren kann, dann hat er sein großes Gehirn nur aus Irrtum bekommen, da für ihn das Rückenmark schon völlig genügen würde."’

Zitate

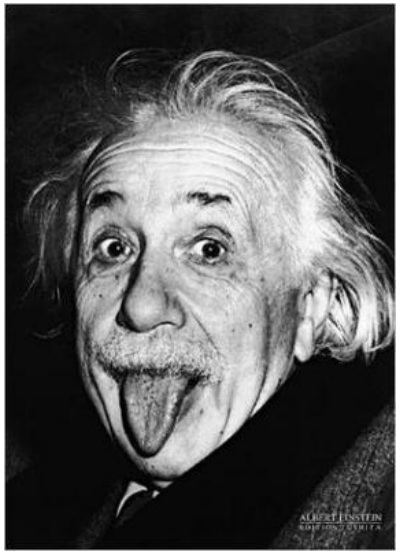

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Es gibt keine andere vernünftige Erziehung, als Vorbild sein, wenn's nicht anders geht, ein abschreckendes."'

Zitate

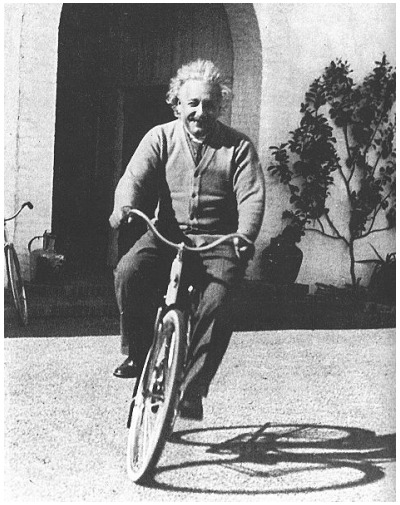

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"'Wissenschaft ist ein mächtiges Werkzeug. Wie es gebraucht wird, ob zum Heile oder zum Fluche des Menschen, hängt vom Menschen ab, nicht vom Werkzeug."'

Zitate

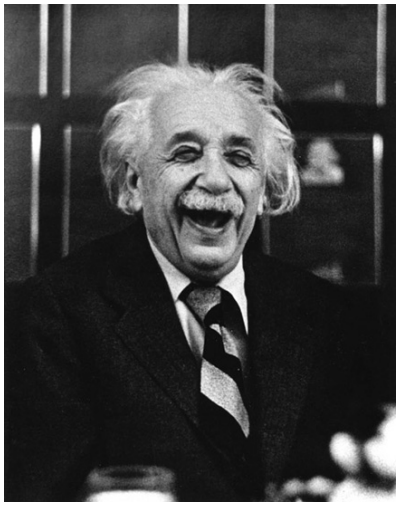

Abbildung : Albert Einstein (1879-1955)

"“Nimm alle Dinge wichtig, aber keines richtig ernst."”