

Interdisziplinärer Zugang zu den Grundlagen und der Interpretation der Quantentheorie

Wintersemester 2019 / 2020, TU Berlin

Gliederung der Vorlesung

1. Einführung.

Schlaglichter zu wissenschaftlichen, künstlerischen und kulturellen Umwälzungen im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts.

2. Klassisches Teilchenbild: Charakteristika der Newtonschen Mechanik

3. Klassisches Wellenbild am Beispiel elektromagnetischer Wellen.

4. Ausgewähltes zur Thermodynamik, soweit sie für Max Plancks Weg zur Quantentheorie entscheidend war.

5. Historischer Zugang zur Quantentheorie.

6. Fundamentale Krise der Physik.

7. Grundstruktur der Quantentheorie. Neue mathematische Entwicklungen stimulieren

die Entwicklung der Quantentheorie: 1900 -1910 (Hilbert, Weyl); 1927 - 1940 (Weyl, Courant, v. Neumann); 1960 -1980 (Haag, Araki, Tomita, Takesaki, Connes).

8. Kopenhagener Interpretation und konstruktivistische Interpretation der Quantentheorie.
9. Herleitung des „Zeitpfeils“, des Unterschieds zwischen Vergangenheit und Zukunft.
10. Exemplarische Folgerungen von Quantenkorrelationen.
U. a. Das Beispiel des experimentell neuen Effekts der Bose-Einstein-Kondensation.
11. Die Atombombe als ethische, politische und wissenschaftliche Herausforderung.
12. Grundlegende Bemerkungen zur digitalen Herausforderung:
Algorithmen, Macht und das Selbstverständnis des Menschen.

I. Einführung. Schlaglichter zu wissenschaftlichen, künstlerischen und kulturellen Umwälzungen im ersten Viertel des 20. Jh.

Die Quantentheorie ist die physikalische Grundlagentheorie, die alles materielle Geschehen beschreibt. Sie entstand zwischen 1900 und 1925 und erschüttert mit ihrem revolutionären Ansatz das Denken der klassischen Physik, deren mathematische Prinzipien Isaac Newton 1687 verfasst hatte.

Der Gegenstand, den die klassische Physik beschreibt, sind zum einen materielle Körper, zum anderen Wellen. Billiard-Kugeln, Baumstämme, Planeten sind Beispiele physikalischer Körper.

Sie sind anschaulich und lassen sich anfassen und begreifen.

Auch Wasserwellen sind unmittelbar anschaulich.

Schallwellen lassen sich (als stehende Wellen im „Kundtschen Rohr“ mit Hilfe von Sägemehl) sichtbar machen.

Ähnlich bei stehenden elektromagnetischen Wellen: Eisenfeilspäne richten sich im magnetischen Feld aus, das zur elektromagnetischen Welle gehört, und machen den räumlichen Verlauf der Welle sichtbar.

Die Objekte der klassischen Physik bewegen sich anschaulich in Raum und Zeit.



Körper haben Masse und nehmen Raum ein







Wellen breiten sich im Raum aus

In der klassischen Physik sind Objekte entweder materielle Körper oder Wellen.

Es gilt die klassische, Aristotelische Logik des „**Entweder-Oder**“.

Wenn wir uns materielle Körper aus kleinen materiellen Teilchen (Korpuskeln) zusammengesetzt vorstellen, dann stehen in der klassischen Physik die Konzepte Teilchen und Welle einander gegenüber. Das Teilchenkonzept liegt der Newtonschen Mechanik zugrunde, das Wellenkonzept der Huygensschen Optik, die in der Maxwellschen Elektrodynamik aufgeht.

In der Quantentheorie treten am selben Objekt sowohl Teilcheneigenschaften als auch Welleneigenschaften auf.

Damit gilt in der Quantentheorie die Logik des „**Sowohl-Als-Auch**“. Sie wird als Quantenlogik bezeichnet.

Sie unterscheidet sich fundamental von der klassischen Logik.

Das „Sowohl Teilchen, als auch Welle“ drückt eine Dialektik aus zwischen der „These“ Teilchenbild und der „Heterothese“ („andere“ These) Wellenbild.

Die Quantenlogik lässt sich nicht in eine klassische Logik einbetten [1].

Damit gibt es keinen logisch konsistenten Weg von der klassischen Physik zur Quantentheorie.

[1] E. P. Specker: „Die Logik nicht gleichzeitig entscheidbarer Aussagen“. *Dialectica* 14 (1960), S. 239-246.

Simon Kochen, E.P. Specker: „The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics“, in „The Logico-Algebraic Approach to Quantum Mechanics“, Vol. I: Historical Evolution, C.A. Hooker (editor). D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht - Holland / Boston - USA, 1975, p. 293-328.
Original publiziert: Simon Kochen, Ernst Paul Specker: „The Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics“, in „The Logico-Algebraic Approach to Quantum Mechanics“, *J. Math. Mech.* 17 (1967) 59-87.

Die Quantentheorie führt eine völlig neue Betrachtungsweise in die Physik ein.
Der dramatische Preis dafür ist der Verlust der räumlichen Anschaulichkeit.
Ein Objekt, das zugleich Teilchen und Welle ist, können wir uns räumlich nicht vorstellen.

Dieses neue Denken ist eine Stimulation und eine Herausforderung über die Physik hinaus.
Es ist eine Einladung, das interdisziplinäre, das Disziplinen übergreifende Potential der Quantentheorie auszuloten.

Einen dialektischen Umgang mit zueinander gegensätzlichen, miteinander korrespondierenden Begriffen kennt die Philosophie seit alters, nicht erst seit Schelling (1775-1854), Hegel (1770-1831) und Marx (1818-1883). Bereits Heraklit von Ephesos (550-480) arbeitet mit einer dialektischen Einheit von Gegensätzen [2]. Doch wird der Begriff Dialektik in der Philosophie vielschichtig und keineswegs eindeutig verwandt. In der spätantiken Bildung gehört das Fach Dialektik zu den sieben Artes liberalis (freie Künste), die im Mittelalter in Quadrivium [3] und Trivium unterteilt werden; Dialektik gehört (mit Grammatik und Rhetorik) zum Trivium (Dreiweg).

Die Stärke der Quantentheorie liegt in der mathematisch präzisen Formulierung der Dialektik von These und Heterothese. Die Synthese ist das mathematisch geregelte Aushalten der Spannung von These und Gegenthese.

[2] „Griechische Atomisten. Texte und Kommentare zum materialistischen Denken der Antike“. Reclam-Verlag Leipzig, 1991, S. 11.

[3] Das Quadrivium (Vierweg) bilden die mathematischen Disziplinen Arithmetik, Geometrie, Astronomie, Musik.

Diese Vorlesung will Grundlagen und Konzepte der Quantentheorie vorstellen und die Interpretation, die Deutung der Quantentheorie thematisieren. Darüber hinaus will sie interdisziplinäre Perspektiven skizzieren. Die Vorlesung wird sich an der geschichtlichen Entwicklung der Quantentheorie orientieren.

Dem Zeitraum von 1900 bis 1925 gilt besondere Beachtung. Dieses Vierteljahrhundert beginnt mit dem Pionierbeitrag von Max Planck, der die **Quantentheorie** konstituiert. Und es erstreckt sich bis zur grundlegenden Arbeit von Werner Heisenberg, die den Beginn der **Quantenmechanik** markiert.

Es fällt auf, dass sich von 1900 bis 1925 auch außerhalb der Physik radikale Umwälzungen anbahnen und vollziehen.

Um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert macht sich in der **Literatur**, in der **Kunst**, in der **Musik** eine stilübergreifende „Fin de siècle“-Stimmung breit. Euphorie über den technischen und industriellen Fortschritt paaren sich mit Zukunftsangst und Endzeitstimmung, getriggert durch das Zerbrechen gewohnter sozialer Strukturen. Bürgerliche Normen erodieren, Morbidität, Dekadenz, Frivolität mischen sich und werden ästhetisch inszeniert. Beispielsweise Thomas Manns „Buddenbrooks“ (1901) und „Der Tod in Venedig“ (1913) repräsentieren dieses Lebensgefühl. Robert Musils „Der Mann ohne Eigenschaften“ thematisiert den Verlust des Weltbilds. Die Handlung des Romans findet in Wien 1914 statt, am Vorabend des Weltkriegs. Der Niedergang der k. u. k. Monarchie ist zu spüren. Der Maschinenbauingenieur Musil zeichnet die Handelnden seines Romans mit naturwissenschaftlicher Präzision.

Die Endzeitstimmung, die Zukunftsangst sind nicht ohne einen harten physikalischen Kern. Rudolf Clausius (1822-1888) prägte am 24. April 1865 in Zürich in einem grundlegenden Vortrag zum **Zweiten Hauptsatz der Wärmelehre** den Begriff der Entropie. Am Ende des Vortrags spricht er die beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie in folgender einfacher Form aus [4]:

1. Die Energie der Welt ist constant.
2. Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.

Henri Poincaré (1854-1912) bezeichnet diesen thermodynamischen Gleichgewichtszustand als einen „Endzustand, der eine Art Tod darstellt“, in dem „alle Körper bei derselben Temperatur in Ruhe“ sind [5]. Ist diese zutiefst deprimierende Erkenntnis das letzte Wort der Physik?

Ludwig Boltzmann (1844-1906) widmet einen zentralen Teil seiner breiten wissenschaftlichen Arbeit (zuletzt wieder in Wien) intensiv der Frage nach der Irreversibilität aller naturgesetzlichen Vorgänge. Trotz genialer Beiträge zum Entropiebegriff [6] und zur Dynamik dissipativer Systeme bleibt die Ursache der Irreversibilität letztlich im Dunkeln. Wie seine Motive zum Selbstmord.

Wir kommen auf die Frage nach der Irreversibilität im letzten Teil der Vorlesung zurück. Den Schlüssel zu einer Antwort wird die Quantentheorie bereithalten.

- [4] Rudolf Clausius: „Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie“. Annalen der Physik und Chemie 125 (1865), S.353. Vorgetragen in der naturforschenden Gesellschaft zu Zürich den 24. April 1865.
- [5] Henri Poincaré: „Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique“. Acta Mathematica 13 (1890), S. 1.
- [6] Ludwig Boltzmann: „Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht“. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Klasse IIa, 76 (1877), S. 373.

Zurück zum kulturellen, künstlerischen, gesellschaftlichen Umfeld zu Beginn des 20. Jahrhunderts. 1900 veröffentlicht Sigmund Freud (1856-1938) das als eine Zeitenwende wahrgenommene Buch „Die Traumdeutung“ [7]. Er legt eine systematische Entschlüsselung der Traumsprache vor und bahnt einen Weg zum Unbewussten (den Königsweg, die sicherste Grundlage der Psychoanalyse, wie Freud selbst festhält). Damit erschließt er die Psychoanalyse als wissenschaftliches Feld. Einen Bezug zur Quantentheorie stellt der Dialog her, den Carl Gustav Jung, Schüler und Kollege von Freud, und Wolfgang Pauli, einer der Pioniere der Quantentheorie, in den 1930er bis 1950er Jahren führten [8].

Der Umbruch in der Musik im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts ist markant. Arnold Schönberg (1874-1951) führt die Atonalität in seinen Kompositionen ein und vollzieht schließlich den Schritt zum Zwölfton-System. Alle 12 Halbtonabstände einer Oktave werden gleich groß gemacht. Das „pythagoreische Komma“ wird dadurch eliminiert. So wird beispielsweise die wohltemperierte Stimmung gegenstandslos, die J. S. Bach eingeführt und im „Wohltemperierten Klavier“ perfektioniert hat [9]. Schönberg und seine Schüler wie Alban Berg, Anton von Webern, Hans Eisler etablieren einen radikal neuen Stil, der mit den vorausgehenden Musiktraditionen bricht. Frappierend, wie der neue Stil zunächst radikal abgelehnt und nach dem Ersten Weltkrieg begeistert angenommen wird [10].

[7] Sigmund Freud: „Die Traumdeutung“. Erstveröffentlichung, Verlag Franz Deuticke, Leipzig und Wien, 1900. (Ausgeliefert 1899.)
Zitiert nach der Ausgabe Fischer-Verlag, Frankfurt a. M., 1993.

[8] „Der Pauli-Jung-Dialog“, H. Atmanspacher, H. Primas, E. Wertenschlag-Birkhäuser (Hrsg.). Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1995.

[9] Siehe Kapitel 1 in [8], S. 51 ff.

[10] Skandalkonzert mit Werken von Schönberg (I. Kammer-sinfonie, 1906) und Schülern, am 31. März 1913 im Konzertsaal des Musikvereins in Wien.
wikipedia.org/wiki/Skandalkonzert_1913.

Im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts findet in der bildenden Kunst eine radikale Umwälzung statt. 1916 proklamiert ein künstlerisch-literarischer Zirkel im Cabaret Voltaire in Zürich den **Dadaismus**. Unter dem Eindruck des I. Weltkriegs entfachen die Künstler eine „Literatur- bzw. Kunstrevolution als Synthese aus kubistischen, futuristischen und expressionistischen Tendenzen“ (Meyers Enzyklopädisches Lexikon). Die Bewegung entwickelt sich weiter in Berlin. U. a. gehören Hans Arp und Hannah Höch zum Kreis der Dadaisten.

In Paris geht der Dadaismus im entstehenden Surrealismus auf. Im Manifest des **Surrealismus** von 1924 schreibt André Breton [11]:

„Wir leben noch unter der Herrschaft der Logik ... Aber die logischen Methoden unserer Zeit wenden sich nur noch der Lösung zweitrangiger Probleme zu. Der nach wie vor führende Rationalismus erlaubt lediglich die Berücksichtigung von Fakten, die eng mit unserer Erfahrung verknüpft sind. Die Ziele der Logik hingegen entgehen uns. Unnötig, hinzuzufügen, daß auch der logischen Erfahrung Grenzen gezogen wurden. Sie windet sich in einem Käfig ...“

[11] André Breton: „Die Manifeste des Surrealismus“. rowohlts enzyklopädie, Reinbek bei Hamburg, 1986, 10. Auflage 2001.

Breton gibt folgende Definition des Surrealismus [11, S. 26]:

„Reiner psychischer Automatismus, durch den man mündlich oder schriftlich oder auf jede andere Weise den wirklichen Ablauf des Denkens auszudrücken sucht. Denk-Diktat ohne jede Kontrolle durch die Vernunft, jenseits jeder ästhetischen oder ethischen Überlegung.“

Und er zitiert den Eintrag in der Enzyklopädie:

„Der Surrealismus beruht auf dem Glauben an die höhere Wirklichkeit gewisser, bis dahin vernachlässigter Assoziationsformen, an die Allmacht des Traumes, an das zweckfreie Spiel des Denkens.“
Den Surrealismus prägen u. a., neben Arp, Max Ernst, Salvador Dali, Joan Miro, Marcel Duchamp, René Magritte.

Die „**Urkatastrophe des 20. Jahrhunderts**“ [12]

Was ist zwischen 1914 und 1918 passiert?

1914 Jubel über den Kriegsbeginn! - 1918 liegt die alte Weltordnung in Trümmern.

Über 65 Millionen Soldaten mobilisiert; 8,5 Millionen Gefallene, über 21 Millionen Verletzte.

Der I. Weltkrieg hat die Qualität des Krieges total verändert, indem er Industrialisierung, Wissenschaft und Technik als wesentliche, kriegsentscheidende Ressource einbezogen hat.

Das amplifiziert und totalisiert das Kriegsgeschehen, die Verluste und die Schäden an der Gesellschaft erreichen einen unvorstellbaren Umfang.

Sinnloses Abschlachten von Menschen:

Verdun, 21.02.-12.07.1916, Stellungskrieg auf einem Schlachtfeld von 300 km², kaum eine Veränderung der militärischen Ausgangslage. 600 000 gefallene Franzosen und Deutsche ([13], S. 417).

An der Somme wird für die Briten der 1. Juli 1916 der blutigste Tag ihrer Kriegsgeschichte. Beim Sturm von 100 000 Soldaten auf die deutschen Stellungen sterben an einem einzigen Tag 20 000 Soldaten im Maschinengewehrfeuer, 40 000 werden verletzt ([13], S. 449).

Gaskrieg.

Krieg bis zur bedingungslosen Kapitulation. Etwas im 18. und 19. Jahrhundert in Europa Unbekanntes.

[12] Diese Formulierung geht auf den Historiker und US-Diplomaten George F. Kennan zurück. Zitiert in [13].

[13]. Herfried Münkler: „Der große Krieg. Die Welt 1914 - 1918.“ Rowohlt, Berlin, 4. Auflage 2014.



Mit einer Ahnung
was war, und was kommen wird?

Otto Nagel, Weddinger Jungen, 1928

*Ausstellung „Surreale Sachlichkeit“.
Sammlung Scharf-Gerstenberg, Berlin-Charlottenburg,
13.10.2016-23.04.2017.*

Welche Entwicklung ging diesem Geschehen im 19. Jahrhundert voraus?

Der britische Historiker Eric Hobsbawm (1917-2012) spricht vom „langen 19. Jahrhundert“, das er in einer Trilogie verhandelt [14]:

- The Age of Revolution: 1789-1848 (Europäische Revolutionen)
- The Age of Capital: 1848-1875 (Die Blütezeit des Kapitals. Eine Kulturgeschichte der Jahre 1848-1875)
- The Age of Empire: 1875-1914 (Das imperiale Zeitalter)

[14] Eric Hobsbawm: „Das lange 19. Jahrhundert“. WBG, Darmstadt 2017.

Die historische Innovation des 19. Jahrhunderts ist die Industrialisierung, verbunden mit einer stürmischen Entfaltung von Naturwissenschaft und Technik. Anhand der Biografie eines der großen Pioniere dieser Entwicklung, anhand der Lebenserinnerungen von Werner v. Siemens [15] möchte ich ausgewählte Stationen und Schlaglichter aus dieser Zeit vergegenwärtigen.

Werner v. Siemens, *1816 in Lenthe (Königreich Hannover), †1892 in Berlin.

Sein Vater studierte Landwirtschaft in Göttingen.

„Er gehörte mit Herz und Sinn dem Teile der deutschen Jugend an, der unter den Stürmen der großen Französischen Revolution aufgewachsen, für Freiheit und Deutschlands Einigung schwärmte.“ (S. 14)

Nach der Zeit in Lenthe pachtete der Vater einen Gutshof in Mecklenburg. Werner wurde von der Großmutter und vom Vater unterrichtet. Mit 11 Jahren besuchte er die Bürgerschule.

Bei gutem Wetter ein Fußweg von 1 Stunde, bei schlechtem Wetter ritt er mit seinem Pony.

1829 engagierte der Vater einen Hauslehrer. Nach der Konfirmation trat Werner in die Obertertia (9. Klasse) des Lübecker Gymnasiums ein. Werner wollte sich auf die Bauakademie in Berlin vorbereiten.

Für ein Studium dort reichte das Geld der Familie nicht, bei der großen Geschwisterzahl und der wirtschaftlich schwierigen Lage der Landwirtschaft.

[15] Werner von Siemens, Lebenserinnerungen. Finanzbuchverlag, München, 2017.

Auf den Rat eines Lehrers wollte Werner in das preussische Ingenieurkorps eintreten, wo er dasselbe lernen kann wie auf der Bauakademie. Wegen langer Wartezeiten für die Aufnahme bewarb er sich in Magdeburg für die Artillerie. Sein Vater war einverstanden:

„So, wie es jetzt in Deutschland ist, kann es unmöglich bleiben. Es wird eine Zeit kommen, wo alles drunter und drüber geht. Der einzige feste Punkt in Deutschland ist aber der Staat Friedrichs des Großen und die preussische Armee, und in solchen Zeiten ist es immer besser, Hammer zu sein als Amboß.“ (S. 21)

1835: Berliner Artillerie- und Ingenieurschule: naturwissenschaftliche Ausbildung.

Unter seinen Lehrern: der Physiker Gustav Magnus, der Mathematiker Martin Ohm (Bruder von Georg Simon Ohm).

1838: Artillerie-Leutnant.

1839 stirbt die Mutter, 1840 der Vater. Als ältester Sohn muss er für die Geschwister sorgen. (Die jüngeren bekamen Vormünder.)

Truppendienst in Magdeburg und Wittenberg. Dabei naturwissenschaftliche Experimente (siehe S. 33). Sekundant bei einem Duell; 5 Jahre Festungshaft. In seiner Zelle richtet er sich ein Labor ein. Seine frühe Begnadigung unterbricht das Experimentieren.

1842: Artilleriewerkstatt Berlin.

1846: Erfindung des elektrischen Zeigertelegraphen.

- 1847: Umhüllung von Kabeln mit Guttapercha (natürlicher Gummi, ähnlich wie Naturkautschuk). Zusammen mit Johann Georg Halske gründet er die „Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske in Berlin“.
- 1848: unterstützt er die Kieler Bürgerwehr gegen dänische Seestreitkräfte. Entwicklung einer Seemine, um die Einfahrt der Schiffe zur Bombardierung der Stadt zu verhindern. Auftrag zu einer Telegraphenleitung von Berlin nach Frankfurt a. Main. Der Beschluss der deutschen Nationalversammlung in der Paulskirche, den preussischen König Friedrich Wilhelm IV. zum deutschen Kaiser zu wählen, wurde telegraphisch nach Berlin gemeldet. (Der lehnte eine solche Wahl ab.)
- 1849: Werner Siemens verlässt das Militär. Er ist jetzt selbständiger Unternehmer.
- 1860: Ehrendoktor der Berliner Universität.
- 1862-1865: Abgeordneter des Reichstags. Mitbegründer der deutschen Fortschrittspartei. (Zitat S. 210)
- 1866: Entwicklung eines elektrischen Generators auf der Basis des von ihm wissenschaftlich begründeten dynamoelektrischen Prinzips.
- 1867: Anlässlich der Weltausstellung in Paris in die Französische Ehrenlegion aufgenommen.
- 1874: Preußische Akademie der Wissenschaften.
- 1883: Votum für die Gründung einer staatlichen Forschungsinstitution.
- 1887 bewilligt der Reichstag die Mittel für die Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Historischer Überblick

Pythagoras von Samos (570-480)	Zahl und Musik
Heraklit von Ephesos (550-480) Zenon von Elea (490-430) Leukipp, Demokrit (470-380)	Dialektik Paradoxien; Bewegung und Vielheit unmöglich Atomismus
Sokrates (470-399) Platon (427-347) Aristoteles (384-322)	Akademie in Athen (387 v. Chr. - 529 n. Chr.) Physik Teil der Philosophie, anders als Geometrie, Astronomie, Geographie
Claudius Ptolemäus (100-160)	mathematische Astronomie, geozentrisches Weltbild
Nikolaus Kopernikus (1473-1543) Giordano Bruno (1548-1600)	heliocentrisches Weltbild vertritt heliocentrisches Weltbild, am 17. Februar 1600 in Rom auf dem Scheiterhaufen verbrannt.

Eberhard Müller: Grundlagen und Interpretation der Quantentheorie. Einführung

Galileo Galilei (1564-1642)
Johannes Kepler (1571-1630)
René Descartes (1596-1650)
Christiaan Huygens (1629-1695)
Isaac Newton (4.1.1643 - 31.3.1727)

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)

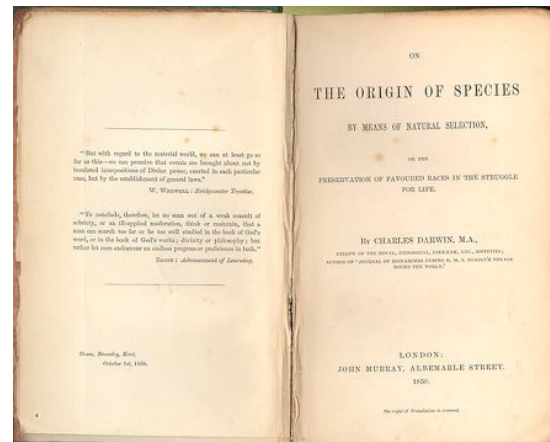
Michael Faraday (1791-1867)
Sadi Carnot (1796-1832)

Charles Darwin (1809-1882)

Pendelschwingung, freier Fall, benutzt Fernrohr (1609)
Optica (1603), 3 Keplersche Gesetze zur Planetenbewegung
“Discours de la méthode“ (1637), Analytische Geometrie
Traité de la lumière (1690)
(Gregorianischer Kalender; Julianischer Kalender: * 25.12.1642)
Gravitationsgesetz (1666),
Philosophiae naturalis principia mathematica (1687)
(Mathematische Prinzipien der Naturlehre)
Infinitesimalrechnung, Monadenlehre

verknüpft Elektrizität und Magnetismus, Induktionsgesetz (1831)
Gesetzmäßigkeit der Wärmeumwandlung (1824)

Evolutionstheorie
1859



it.wikipedia.org

Robert Mayer (1814-1878)
Rudolf Clausius (1822-1888)
James Maxwell (1831-1879)
Josiah Williard Gibbs (1839-1903)
Ludwig Boltzmann (1844-1906)

1. Hauptsatz der Thermodynamik (1841)
2. Hauptsatz der Thermodynamik, Entropie (1865)
Elektrodynamik (1862), kinetische Gastheorie
Verteilungsfunktion für thermisches und chemisches Gleichgewicht
Kinetische Gastheorie, Entropie, irreversible Prozesse

Sigmund Freud (1856-1939)

Psychoanalyse



onthisdeity.org

Heinrich Hertz (1857-1894)

Nachweis elektromagnetischer Wellen (1886)

Max Planck (1858-1947)
David Hilbert (1862-1943)
Albert Einstein (1879-1955)

Wirkungsquantum, Wärmestrahlung
Operatoren mit Spektrum, Hilbert-Raum
Relativitätstheorien, Photoelektrischer Effekt, Quantenkorrelationen

Max Born (1882-1970)
Niels Bohr (1885-1962)
Erwin Schrödinger (1887-1961)
Louis de Broglie (1892-1987)

Statistische Interpretation der Quantenmechanik
Atommodell, Korrespondenzprinzip
Nichtrelativistische Quanten-Dynamik (Schrödinger-Gleichung, 1926)
Welle-Teilchen-Dualismus (1924)

Wolfgang Pauli (1900-1958)
Werner Heisenberg (1901-1976)
Paul A. M. Dirac (1902-1984)

Wasserstoffatom, Quantenstatistik, Spin, Neutrino,
Matrizenmechanik, Unschärferelation
Relativistische Quanten-Dynamik (Dirac-Gleichung, 1927),
Antimaterie

Zenonsche Paradoxien als Anfrage an die Physik der Neuzeit [16]

1. Wettrennen zwischen Achilles und Schildkröte:

Achilles wird die Schildkröte niemals einholen.

Begründung:

Das Bewegte muss vor Erreichen des Ziels zuerst die Mitte der Strecke erreicht haben.

Hat es die Mitte der ganzen Strecke erreicht, muss es die Mitte der verbleibenden Hälfte erreichen, usw.

Das ist ein Vorgehen, das nie zu Ende kommt.

Auflösung der Paradoxie: Kapitel 2.

2. Ein fliegender Pfeil ist eine Unmöglichkeit:

Das Bewegte bewegt sich weder in dem Raum, in dem es ist, noch in dem, in dem es nicht ist.

Begründung:

Jedes Ding ist immer dann in Ruhe, wenn es in einem ihm gleichen Raum ist; folglich ist jetzt der bewegte

Körper im Jetzt; folglich ist der fliegende Pfeil unbewegt.

Auflösung der Paradoxie: Kapitel 8.

[16] Jacques Brunschwig, Geoffrey Lloyd: „Das Wissen der Griechen“. Eine Enzyklopädie. Wilhelm Fink Verlag, München, 2000.

Vorgehen:

Zur Erarbeitung und Erläuterung der Konzepte der klassischen Physik beschränke ich mich in dieser Vorlesung auf elementare, einfache Experimente. Damit soll der Aufwand zur Vermittlung zwischen den verschiedenen Disziplinen auf das Nötige begrenzt und minimal gehalten werden.

Als Schlüsselexperiment zur Skizzierung der für die klassische Mechanik grundlegenden Axiome Newtons dient der freie Fall einer kleinen massiven Kugel auf die Erdoberfläche. Den Bahnbegriff und das Newtonsche Kraftgesetz lassen sich an diesem paradigmatischen Beispiel entwickeln. Die Wechselwirkung zwischen massiven Körpern wird in der Newtonschen Mechanik durch das Gravitationsgesetz beschrieben.

Als Schlüsselexperiment zur Entwicklung des klassischen elektromagnetischen Wellenbilds wird das Faradaysche Induktionsgesetz herangezogen. Zusammen mit einer Symmetrieüberlegung ergeben sich daraus die freien Maxwell-Gleichungen.

Den Schlüssel zur Quantentheorie legt die Wärmestrahlung bereit.