

Content of all Physics Bachelor compulsory courses

The following tables are the result of a joint effort from all professors who have taught the courses from 2013 to 2021. The items represent a collection of topics and subtopics that are typically taught in the respective lectures. While covering the major teaching time, the remaining time can be reserved for additional topics that each lecturer is free to choose. A comprehensive list of topics taught in the current lectures is published each semester in the ETH course catalogue (<http://vvz.ethz.ch/en>).

This document may guide lecturers as a blueprint while elaborating on their own courses and provide an overview of the content that is covered at the different stages in the Bachelor program.

The project was initiated by Günther Dissertori as an integral part of the Physics Bachelor reform in 2020. It was conducted from 2020 to 2021 by Natasha Kiper, Marie Lou Schubert, Roland Gautier and Guillaume Schiltz.

We want to thank all participating professors for their valuable input:

ANASTASIOU Charalampos, BEISERT Niklas, BLATTER Gianni, DISSERTORI Günther, ENSSLIN Klaus, FAIST Jérôme, GABERDIEL Matthias, GEHRMANN Thomas Kurt, GESHKENBEIN Vadim, GRAB Christophorus, GRAF Gian Michele, GRANGE Rachel, HOME Jonathan, JETZER Philippe, JOHNSON Steven, KELLER Ursula, KIRCH Klaus Stefan, REFREGIER Alexandre, RENNER Renato, SCHMID Hans Martin, SIGNER Adrian, SIGRIST Manfred, SOTER Anna, WALLNY Rainer, WALLRAFF Andreas

An extensive file, including comments and considerations from the involved professors is available upon request.

Disclaimer: The present document has no legal or binding status. However, the department recommends that the listed topics and subtopics should be recurrent in future courses. The document will be reviewed and updated on a regular basis, according to future curricular developments and adaptations.

Version history: Sept 2022 (original document)

1st year Bachelor

Physik I

Themen	Unterthemen
Einleitung	Die Physik als Wissenschaft
	Physikalische Grössen: Definition, Einheiten und Grössenordnungen
	Differential- und Integralrechnung: Differentialrechnung, Taylorreihen, Partielle Ableitung, Integralrechnung
	Vektoren: Vektoralgebra, Multiplikation mit einem Skalar, Skalarprodukt, äusseres Produkt und Vektorprodukt, kartesische Basisvektoren und Vektorkomponenten, Ableitung von Vektoren, Koordinatensysteme, Basiswechsel
Kinematik des Massenpunktes	Massenpunkt
	Ortsvektor
	Geschwindigkeit: Geschwindigkeit als Vektor, Geradlinig gleichförmige Bewegung, Allgemeine Bewegung
	Beschleunigung: Beschleunigung als Vektor, Konstante Beschleunigung - Fall- und Wurfbewegung, Kreisbewegung, Winkelgeschwindigkeit als Vektor, Winkelbeschleunigung, Allgemeine Beschleunigung
Dynamik des Massenpunktes	Die Masse: Definition, träge und schwere Masse
	Der Impuls
	Die Impulserhaltung
	Das zweite Newton'sche Gesetz - Aktionsprinzip: Zeitliche Impulsänderung und Kraft, Kraftstoss, Kräfte, Beziehung zwischen Kraft und Beschleunigung
	Das erste Newton'sche Gesetz - Trägheit
	Das dritte Newton'sche Gesetz - Aktion = Reaktion: Kugel auf Tisch, Kugel in Wasser
	Anwendungen Impuls und Impulserhaltung: freier Körper im Weltraum, zentraler elastischer Stoss zweier Kugeln
	Anwendungen der Newton'schen Gesetze: Allgemeiner Ansatz zur Lösung kinematischer Aufgaben, Freier Fall im Schwerfeld
	Anwendungen Kontaktkräfte: Körper die sich aufeinander befinden, hängendes Gewicht, Federkraft (Hooke'sches Gesetz), Reibungskraft (Haft- und Gleitreibung, Strömungswiderstand), Bremsweg auf nasser Strasse
	Kraftfelder: Elektrische Kraft (Coulombkraft), Gravitationskraft (Gewicht, Scheinbare Gewichtskraft)
	Beschleunigte Bezugssysteme - "Scheinkräfte": Geschwindigkeit, Beschleunigung, Scheinkräfte, Rotation in einer Ebene, Corioliseffekt auf der Erdoberfläche, Foucault-Pendel
Arbeit und Energie	Vektoranalysis: Linielement, Orientiertes Flächenelement, Volumenelement, Gradient, Fluss eines Vektorfeldes, Divergenz - Der Gauss'sche Satz, Rotation, Der Stokes'sche Satz
	Mechanische Arbeit, Leistung
	Kinetische Energie
	Potentielle Energie und konservative Kräfte
	Energieerhaltung: Energiesatz der Mechanik, Bewegung eines Balles in einer Kreisschleife
Drehbewegungen	Drehimpuls

Vielteilchensysteme	Schwerpunktsatz
	Labor- und Schwerpunktsystem
	Linear- und Drehbewegung: Geschwindigkeit, Impuls, Energie, Drehimpuls, Drehmoment
	Erhaltungssätze für N-Teilchen-Systeme: Schwerpunktsatz, Impulssatz, Drehimpulssatz, Mechanischer Energiesatz
	Teilchenstöße: Zentraler, (allgemeiner) und elastischer 2-Teilchen-Stoss
Gravitationstheorie	Newton'sche Gravitationstheorie
	Himmelsmechanik
	Gravitationsfeld ausgedehnter Körper: (homogene Kugelschale), Kugel mit homogener Massenverteilung, Beispiel Galaxie - Stern
Dynamik des starren Körpers	Massenschwerpunkt
	Kräfte und Drehmomente: Wirkungslinie, Addition von Kräften, Drehmoment
	Statisches Gleichgewicht
	Lineare und Drehbewegung, Trägheitstensor: Beschreibung der Lage eines Körpers im Raum, (Eulerwinkel), Translation, Rotation, Berechnung von Trägheitsmomenten, Der Steinersche Satz, Rollende Körper
Wärmelehre und Thermodynamik	Die Temperatur und das Gasthermometer: Definition des Druckes, Gesetz von Gay-Lussac
	Die absolute Temperatur und die Kelvin-Skala
	Wärmeenergie und Wärmekapazität
	Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik
	Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik: Definition der Inneren Energie
	Ideale Gase: Zustandsgleichung, spezifische Wärme, Äquipartitionsgesetz, Zustandsänderungen (isobar, isotherm, adiabatisch), Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit
	Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik: (Phänomenologie), Wärmekraftmaschinen / Carnotprozess, Entropie, Mathematische Formulierung, Beispiel Wärmekraftmaschine
	Reale Gase und Flüssigkeiten: Zustandsgleichung, Dampfdruck (Dampfdruckkurve, latente Wärme, Gleichung von Clausius-Clapeyron), Phasenübergänge
Schwingungen	Harmonische Schwingungen: Beispiel Schwingwagen, angenäherter harmonischer Oszillator, Beispiel Kreispendel, Periode, Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung, (komplexe Darstellung), Anfangsbedingungen, Energiebilanz
	Gedämpfte Schwingungen: Gedämpfter harmonischer Oszillator, verschiedene Beispiele, Energiebilanz
	Erzwungene Schwingungen, Resonanz: Gleichgewichtslösung, Amplitude und Phase der Resonanz, Energiebilanz
	Überlagerung von Schwingungen: Zwei Schwingungen gleicher und unterschiedlicher Frequenz
	Fourieranalyse: Fourierreihen (Beispiel Mäanderkurve, Gibbs'sches Phänomen, komplexe Darstellung, Anwendungen), Fourierintegrale (Beispiel Knall, Deltafunktion)
	Gekoppelte Schwingungen: Zwei und drei Oszillatoren

Physik II

Themen	Unterthemen
Wellen	Wellentypen, Wellenausbreitung
	Prinzip der Superposition
	Reflexion und Transmission
	Stehende Wellen
	Akustik, Musikinstrumente
	Beugung, Brechung und Dispersion
Elektrostatik	Die elektrische Ladung
	Das Coulomb'sche Gesetz
	Energie einer Ladungsverteilung
	Das elektrische Feld
	Das Gauss'sche Gesetz
	Felder einfacher Ladungsverteilungen
	Die Energie des elektrischen Feldes
	Das elektrische Potential
	Potentiale einfacher Ladungsverteilungen
	Der Satz von Gauss
	Der Laplace-Operator
	Der Satz von Stokes
Elektrische Leiter	Leiter und Isolatoren
	Das allgemeine elektrostatische Problem
	Faraday'sche Käfige
	Kondensatoren
Elektrische Ströme	Ladungserhaltung
	Das Ohm'sche Gesetz
	Schaltkreise mit diskreten Komponenten
	Energieumwandlung in Widerständen
	Das galvanische Element
	Schaltkreise mit Kondensatoren

Einführung in die Relativitätstheorie	Matrizenrechnung
	Galilei'sche (oder Newton'sche) Relativitätstheorie
	Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie
	Uhren und Mass-Stäbe
	Energie, Impuls und Masse
Felder bewegter Ladungen	Magnetische Kräfte
	Ladungsinvarianz
	Transformation elektrischer Felder
	Felder bewegter Ladungen
	Felder beschleunigter Ladungen
	Kräfte auf bewegte Ladungen
	Wechselwirkungen zwischen bewegten Ladungen
	Definition des magnetischen Feldes
	Das Ampère'sche Gesetz
	Das Vektorpotential
	Das Biot-Savart'sche Gesetz
	Relativistische Transformationen
	Entstehung
	Das Faraday'sche Gesetz
	Das Lenz'sche Gesetz
	Die gegenseitige Induktivität
	Die Selbstinduktivität
	Der frei schwingende, gedämpfte RLC-Stromkreis
	Wechselspannungs-Generator und Motor
	Wechselstromkreise
Beschreibung durch komplexe Zahlen	
Leistungsaufnahme eines Stromkreises	
Der Transformator	
Maxwellgleichungen und elektromagnetische Wellen	Die Maxwellgleichungen
	Die homogenen Wellengleichung und deren Lösungen
	Wellengleichung für Potentiale
	Der Hertz'sche Dipol

Elektrische und magnetische Felder in Materie	Beobachtungen
	Elektrische Dipole
	Atomare Dipole
	Felder polarisierter Materie
	Die elektrische Flussdichte und das Gauss'sche Gesetz im Dielektrikum
	Eine polarisierte Sphäre in einem externen Feld
	Maxwellgleichungen und elektromagnetische Wellen in dielektrischen Medien
	Magnetische Dipole
	Kreisströme in Atomen
	Der Elektronenspin
	Felder magnetisierter Materie
	Freie Ströme und das "H"-Feld
	Maxwellgleichungen in Materie
	Ferromagnetismus

2nd year Bachelor

Physik III

Topics	Subtopics
Optics	Geometric Optics
	Wave Optics
	Lenses and optical instruments
	Ray optics to describe propagation of light through lenses
	Diffraction including Fraunhofer diffraction
	Polarization
	Spectrometers and Resolution
Atoms & Quantum Physics	Cross section, Rutherford, Rayleigh and Compton scattering
	X-Rays (inverted photo effect), Bragg Scattering and Bremsstrahlung
	Photo-electric effect
	Wave-particle duality and de Broglie
	Wavefunction and Probability Density
	Stern Gerlach
	Heisenberg Uncertainty Principle
	Schrödinger Equation (TISE and TDSE) and its solution
	Square well
	Eigenvalues and Eigenstates including Superposition of states
	Harmonic oscillator
	Spin
	Hydrogen (calculation of TISE)
	Perturbation of Hydrogen: Zeeman effect, spin-orbit coupling
	Selection rules
Many-electron atoms and their allowed eigenstates (Spin-statistic Theorem)	
Statistical Physics	Equilibrium statistical mechanics; Macro- and Microstates
	Maxwell-Boltzmann; Kinetic theory (definition of temperature) and the ideal gas
	Definition of Entropy and the laws of thermodynamics
	Boltzmann distribution, rule and factor
	Blackbody experiments and concepts like UV catastrophe
	equipartition theorem
	Indistinguishable particles

Allgemeine Mechanik

Topics	Subtopics
Newtonsche Mechanik	Intertialsysteme
	Schwerpunktsatz und Konzept der Masse
	Newton'sches Prinzip
	Galileische Relativitätsprinzip
	Beschleunigte Bezugssysteme
Zweikörper-Systeme	Allgemeine Bewegungsgleichungen
	Kepler-Problem
Lagrange Formulierung	Minimierungsprobleme
	Euler-Lagrange-Gleichungen
	Lagrange Formalismus und Multiplikatoren
	Zwangsbedingungen
	Prinzip der stationären Wirkung
Noether Theorem	
Schwingungsprobleme	Lösungen der homogenen Gleichung
	Eigenschwingungen
	Erzwungene Schwingungen
	Parametrische Resonanz
	Stabilisierung linearer Systeme
Hamiltonsche Systeme/Formalismus	Legendretransformation
	Hamiltonsche Gleichungen
	Phasenraum
	Hamilton-Jacobi Gleichungen
Starre Körper	Systeme mit Zwangsbedingungen
	Eulerwinkel
	Trägheitstensor
Spezielle Relativitätstheorie	Geometrie der Raumzeit
	Längenkontraktion und Zeitdilatation
	Lorentz- und Poincaregruppe
	Relativistische Mechanik

Electrodynamics

Topics	Subtopics
Electrostatics	Coulomb's law and the electric field
	The electric potential and field equations
	Energy of the electrostatic field / of a charge distribution
	simple charge distributions: electric dipole, homogeneously charged sphere, planar distributions
	Electrostatic boundary value problem
	Dirichlet and Neumann boundary condition
	Green's functions
	selected boundary problems, charged conductors and capacity coefficients
	Laplace operator and spherical symmetry
	Multipole expansion, spherical harmonics
	Representations of $SO(3)$
Magnetostatics	Magnetic field
	Field equations
	Vector potential
	Continuity Equation
	Gauge symmetry
	thin wires
The Maxwell Equations	Stationary currents and Ampère's law
	Selected current distributions: magnetic dipole, surface current, moving point charges
	Faraday's law of induction
	Electromagnetic potentials, gauge invariance
	Displacement current
	Gauge invariance
	Consequences of Maxwell equations: free electromagnetic field, conserved quantities, special relativity
Electromagnetic waves	General solutions of Maxwell equations with sources
	the free field, free wave equation
	Initial Value Problem
	plane waves
	Radiation: dipoles, linear antenna, accelerated charges

Special Relativity	Tensor analysis
	Relativistic mechanics: proper time, time dilation, doppler effect, energy and momentum
	Relativistic formulation of Electrodynamics
	Lagrangian formalism of electrodynamics
Conservation laws and symmetries	charge
	energy and momentum
	angular momentum
The field of a point charge	Retarded potentials
	Radiated energy
Electrodynamics in matter	Average of charge and current densities
	Macroscopic Maxwell equations
	Dielectrics
	Dispersion
	Waves in a dielectric medium
	interface conditions
	Reflection and refraction
	Normal incidence, Brewster angle, total reflection
	Scattering
	The field in a conductor
Others	Wave guides

3rd year Bachelor

Theorie der Wärme

	Topics	Subtopics	
Thermodynamik	Hauptsätze der Thermodynamik	Thermodynamische Systeme und ihr Gleichgewicht	
		Einleitung in die relevante Mathematik, die Funktionen mehrerer Variablen, partielle Ableitungen, (un) vollständige Differentiale, integrierende Faktoren, etc.	
		Nullter Hauptsatz	
		Erster Hauptsatz inkl. Wärme	
		ideales Gas	
		Zweiter Hauptsatz	
		Absolute Temperatur	
		Entropie	
		Maxwell-Dämon	
		Dritter Hauptsatz	
		Zustandsgleichungen	
		Anwendungsbeispiele	
		Thermodynamische Potentiale	Gibbsche Fundamentalgleichung
			Entropie und Energie als Potentiale
	Legendre Transformation		
	Freie Energie F		
	Enthalpie H		
	Gibbs Potential G		
	Grosses Potential Ω		
	Maxwell Relationen		
	Homogenität und Gibbs-Duhem-Gleichung		
	Mehrstoffsysteme	Mischungen (ideale und verdünnte)	
		Chemische Gleichgewichte	
		Osmotischer Druck	
		Gibbsches Paradoxon	
		Massenwirkungs Gesetz	

	Phasenübergänge	Dampfdruckkurve
		Thermodynamische Potentiale am Phasenübergang
		Ehrenfest-Klassifikation von Phasenübergängen
		Gibbsche Phasenregel und Phasendiagramme
		Gibbssche Flächen
		Van der Waals Gas = Gas-Flüssig Übergang = reale Gase
Kinetische Gastheorie	Kinetische Gastheorie	Boltzmann-Gleichung
		Hydrodynamik
		Berechnung der Streuwahrscheinlichkeiten
		Zustandsbeschreibung in der kinetischen Gastheorie
		Stossinvarianten/Stossterme
		Maxwell-Boltzmann Verteilung
		Verbindung zur Thermodynamik
		Relaxation und Transport
	Transport	Wärmeleitung
		Entropiebilanz
Thermoelektrische Effekte		
Onsager Relation		
Statistische Mechanik	Klassische statistische Mechanik	Phasenraum
		Mikokanonisches Ensemble
		Kanonisches Ensemble
		Grosskanonisches Ensemble
		Äquipartitionsprinzip
		Weitere Anwendungen
	Magnetische Ordnung	Modellsysteme (HbM, Ising, etc)
		Relevante Grössen
		Phasenübergänge und Symmetrie berechnung
		Ising Modell
		Paramagnetismus

Quantenmechanik I

Themen	Unterthemen
Historische Einführung	Planck'sches Strahlungsgesetz (1900)
	Photoeffekt (1905 Einstein)
	Bohrsche Quantenhypothese (1913)
	Bohr-Sommerfeld Quantisierung (1915)
	Compton-Effekt (1922)
	de Broglie Hypothese (1923)
	Schrödinger (1926): Wellenmechanik als Analogie zur Wellenoptik
	Heisenberg (1925): Matrizenmechanik
Wellenmechanik	Doppelspaltexperiment
	Schrödingergleichung (zeit-abhängig und zeit-unabhängig)
	Wellenfunktion und Gauss'sche Wellenpakete
	Orts- und Impulszustände
	Messungen in der QM
	Energie Eigenzustände
	Wahrscheinlichkeitsstrom und Kontinuitätsgleichung
Elementare Systeme	Teilchen im Kasten
	Potentialstufe, Tunneleffekt
Formalismus	Hilbertraum
	Dirac-Notation
	Vektoren / Zustände
	Operatoren
	Observable und Messprozess
	Schrödinger-, Heisenberg- und Wechselwirkungsbild
Heisenbergsche Unschärferelation	Kompatible und inkompatible Observable
Der harmonische Oszillator	Quantisierung / Bestimmung des Spektrums
	Kohärente Zustände
Zentralpotential, Wasserstoff-Atom	Coulomb-Potential
	Schwerpunkts- und Relativbewegung
	Eigenwertproblem in Kugelkoordinaten

Teilchen im elektromagnetischen Feld	Eichtransformationen
	Zeeman-Effekt
	Aharonov-Bohm Effekt
Symmetrien in der QM	Reduzible und irreduzible Darstellungen
	Unitäre Darstellungen
	Drehgruppe $SO(3)$ und ihre Lie-Algebra
Rotation, Drehimpuls und Spin	Drehimpuls
	Rotation und Tensoren
	Der Spin des Elektrons
	$SU(2)$
	Bahndrehimpuls
	Spin-Bahn-Kopplung
	Addition von Drehimpulsen, Clebsch-Gordon Zerlegung
	anomaler Zeeman-Effekt
	Wigner-Eckart-Theorem
Streutheorie	Lippmann-Schwinger Gleichung
	Bornsche Näherung
Approximationsmethoden	WKB Methode
	Variationsverfahren
	Beispiel: Helium
Störungstheorie	stationär, nichtentartet
	stationär, entartet
	nichtstationär
Einführung in die Quanteninformationstheorie	EPR Paradox
	Bell'sche Ungleichungen
	Teleportation

Core courses

Festkörperphysik

Topics	Subtopics
Kristallstrukturen	Beugungstheorie
	periodische Strukturen und das reziproke Gitter
	Symmetrien
	Kristallgitter
Streutheorie	Brillouin Zonen
	Struktur-Faktor
	Streubedingungen an einem periodischen System
	Bragg-Beziehung
Phononen	Dynamik des Kristallgitters
	Thermische Eigenschaften von Kristallgittern
	Prinzip der stationären Wirkung
	Symmetrien und Erhaltungssätze
	Noether Theorem
Freies Elektronengas	freies Elektronengas in einem Potenzialtopf
	Fermi-Gas bei $T=0K$
	Fermi-Statistik
	Spezifische Wärme von Leitungselektronen
	Elektronische Abschirmung in einem Fermi-Gas

Bandstruktur	Allgemeine Symmetrie-Eigenschaften
	Bemerkungen zum Blochschen Theorem
	Näherung fast freier Elektronen
	Stark gebundene Elektronen
	Zustandsdichte eines realistischen Kristalls
	Kanonische Flüsse
	Hamilton-Jacobi Gleichungen
	Drude Modell
	Hall-Effekte
	Bewegung von Elektronen in Bändern
	Ströme in Bändern: Elektronen und Löcher
	Streuung von Band-Elektronen
	Boltzmann-Gleichung und Relaxationszeit
	Elektrische Leitfähigkeit von Metallen
Halbleiter	Ladungsträgerdichte in intrinsischen Halbleitern
	Ladungsträgerdichte in dotierten Halbleitern
	Leitfähigkeit von Halbleitern
	p-n-Übergang
Supraleiter	Experimentelle Tatsachen
	London Gleichungen
	Energielücke
	Elektronen-Paare und Flussquantisierung
	Ginzburg-Landau Theorie
Magnetismus	Diamagnetismus und Paramagnetismus
	Magnetismus freier Elektronen
	Austausch-Wechselwirkung
	Bandmodell für Ferromagnetismus

Astrophysics I

Topics	Subtopics
Introduction	History
	Astronomical units and measurements
Interaction of Radiation with Matter	Radiative Transfer Equation
	Thermodynamic Equilibrium
	Application to Stars
Extrasolar Planets	
Stars	Stellar Structure Equations
	Scaling relations
	Nuclear Energy production
	Stellar Evolution
	Mass-radius relation for degenerate stars
	Stellar Dynamics
The Milky Way Galaxy	Structure / shape and size
	Interstellar Matter
	Galactic rotation
	Spectral lines
Fluid and Plasma Astrophysics	
Galaxies	Types of Galaxies
	Active Galactic Nuclei
	Clusters of Galaxies
Cosmology	Expansion of the local Universe
	Elements of General Relativity
	Metric for the Universe
	Friedmann equation
	The cosmic micro-wave background
	The thermal history of the Universe

Quantum Electronics

Topics	Subtopics
Electromagnetic theory of light	Maxwell equations
	wave equation
	electromagnetic energy
	Plane waves
	Complex notation
	Electric and magnetic fields in a plane wave
	Pulses, chromatic dispersion and propagation
	Refractive index
	Material equations
Linear Pulse Propagation	Light pulses
	Non-linear vs linear pulse propagation
	Helmholtz-Equation
	linear pulse propagation
Rays and optical beams	Definition of rays and ray equation
	Rays and matrix optics
	reflection and Snellius law
	Brewster-angle and critical angle for total reflection
	Paraxial spherical wave, Gaussian beams
	Beam quality, M^2 parameter
	Propagation and focusing of Gaussian beams
	ABCD law
change of polarization	
Interference and Coherence	Young's double slit experiment
	Requirements for interference
	Interference of light waves (different forms)
	Wiener-Khintchine theorem
	Interferometers
	Intensity correlation
	Coherence

Fourier Optics	Fourier expansion - spatial frequencies
	Propagation of a field in free space
	Fresnel approximation
	Fraunhofer approximation
	Diffraction
	Transfer function of a lens
	Applications (f.e. Holography)
	Spatial coherence - the van Cittert-Zernike theorem
Laser fundamentals	Spontaneous and stimulated emission (Einstein-coefficients)
	Pumping schemes
	Rate equations and pumping
	Axial modes and spectral lines
	Rate equations of a 4-level-laser
	Spectral properties of the laser output
	Optical Resonators and laser modes
	Distributed losses, Q, lifetime
	Resonator stability
	Resonator losses by diffraction
	Different laser types (f.e. semiconductor lasers, solid-state lasers, gas lasers, single frequency laser)
Light-matter interaction	Complex susceptibility
	Quantum model and light-matter interaction
	Phase velocity and velocity of rays
	Lifetime and broadening
	index ellipsoid and optical indicatrix
	optical classification and properties of crystals
	(induced) double refraction
	Grand canonical ensemble
	Dichroism
	Polarization elements
optical modulators	
Dynamical behaviour of lasers	Gain switching
	Q-Switching
	Mode locking

Waveguide and integrated optics	planar waveguide
	modes of waveguides
	optical fibers
	coupling of waveguides
Non-linear optics	second order non-linear optics
	coupled-wave theory & coupled mode equations
	phase matching condition
	Quasi-phase matching condition
	Third order non-linear optics

Einführung in die Kern- und Teilchenphysik

Themen	Unterthemen
Einleitung	Einheiten und Größenordnungen
Theoretische Konzepte	Streuexperimente: Relativistische Transformationen, Zweiteilchenreaktionen, Elastische und inelastische Streuung
	Geometrischer und Differentieller Wirkungsquerschnitt
	Fermi's Goldene Regel
	Wechselwirkungen - Kräfte
	Feynman Diagramme
	Teilchen und Antiteilchen
Experimentelle Methoden	Beschleuniger
	Detektoren
Elastische Streuung an Kernen	Streuexperiment von Rutherford
	Kinematik der Elektronenstreuung
	Rutherfordscher Wirkungsquerschnitt
	Mott Wirkungsquerschnitt
	Formfaktoren der Kerne
	Ladungsverteilung der Kerne
Elastische Elektron-Nukleon Streuung	Rückstoss
	Magnetisches Moment
	Rosenbluth Formel
Tiefenelastische Streuung	Angeregte Nukleonzustände, Kinematik der Elektron-Proton Streuung
	Strukturfunktionen
	Das Partonmodell nach Feynman
	Strukturfunktionen im Partonmodell
	Ladung der Quarks
	Impulsverteilung der Quarks
Quarks in Hadronen	Mesonen und Baryonen
	Isospin der Nukleonen
	Mesonen aus leichten Quarks (u, d, s): Quantenzahlen, Strangeness
	Baryonen aus leichten Quarks (u, d, s): Farbladung, Hadronen als farbneutrale Objekte, Baryon Multipletts
	Das Top Quark

Starke Wechselwirkung und QCD	Quark-Gluon Wechselwirkung, Experimenteller Nachweis der drei Farbladungszustände
	Die Farbquantenzahl
	Unterschied QCD - QED
	Die starke Kopplungskonstante
	Von Quarks zu Hadronen, Jets
Schwache Wechselwirkung	Klassifizierung
	Entdeckung der Neutrinos, Cowan und Reines
	Leptonzahlerhaltung
	Geladener schwacher Strom (CC): Kopplungsstärke
	Neutraler schwacher Strom (NC)
	Entdeckung der W und Z Bosonen
	W und Z Produktion am LEP Collider, Breite der Z-Resonanz und Anzahl Neutrino-Familien
	Universalität der schwachen Ladung
Elektroschwache Theorie	Paritätsverletzung: Paritätstransformation, Helizität und Chiralität, verschiedene Experimente, CP Erhaltung
	Schwacher Isospin, schwache Hyperladung
	Der Weinberg-Winkel
	Der Higgs-Mechanismus
Das Standardmodell	Higgs-suche am LHC
	Tests des Standardmodells
Kernkraft	Globale Eigenschaften der Kerne: Massenbestimmung, Bindungsenergie pro Nukleon
	Nukleon-Nukleon-Potential
	Charakter der Kernkraft
Aufbau der Kerne	Fermigasmodell
	Schalenmodell
Stabilität der Kerne	alpha-Zerfall
	Spontane Kernspaltung
	gamma-Zerfall

Kernspaltung	Anwendung der Kernenergie
	Anwendungen der Kernspaltung: Neutroneninduzierte Kernspaltung von U-235, Kettenreaktion im Kern-Reaktor, kritische Masse
	Kernreaktor
	Atombombe
	Strahlendosis
Kernfusion	Prinzip der Kernfusion
	Technische Realisierung
	Tokamak-Prinzip
	Energieerzeugung in unserer Sonne: Proton-Proton-Zyklus, CNO-Zyklus
Neutrinos	Neutrino Quellen
	Neutrino Massen: Masse aus dem beta-Zerfall des Tritiums
	Neutrino Oszillationen

Mechanics of Continua

Topics	Subtopics
Introduction	From the mass point to the continuum
	Deformations and tensions
	Statics of fluids
Elasticity	Energy of deformation / elastic energy
	Hooke's law
	Displacement field and stress tensor
	Temperature and deformations
	Elasticity of crystals
Elastostatics	basic field equations of displacement field
	Boundary conditions
	Variational formulation
	Bending of rods: concept of Bernoulli's neutral layer
	Torsion of rods
	Statics of fluids and gases
	Point force on elastic medium
Elastic waves	Elastic waves in isotropic medium
	Polarization
	Elastic waves in crystals
	Derivation of wave equation from Hamiltonian principle
	Scattering of waves at surfaces
	Surface waves
Dislocations	Structure of dislocations
	Screw dislocation
	Edge dislocation
	Macroscopic description
	Forces acting on a dislocation
	Dislocation motion

Fluid dynamics	Lagrange (trajectories) vs Euler (velocity field) formulation
	Kinematics
	Continuity equation
	Euler's equation
	Boundary conditions
	Real fluids and Navier-Stokes equations
Conservation laws and simple flows, ideal fluids	Matter: continuity equations
	Momentum: equation of motion
	Angular momentum
	Bernoulli's equation
	Energy and momentum fluxes
	The conservation of circulation
	Vortices
	Thomson and Helmholtz theorems
	Incompressible and irrotational flows
	Hugoniot equation for stationary flow in pipes
	Sound waves
	Jeans instability
	Gravity waves in water
Oscillations and waves in fluids	Capillary waves
	Circular waves on deep water
	Ship waves
	basic formulation of velocity field in complex plane: velocity potential and streaming lines
	Theorem of Kutta-Zhukhovski
	Flow around circle with/out circulation
Potential flow in 2D	Magnus force
	The force acting on the body in potential flow
	Construction of 2D potential flows
	Kutta condition, drag and lift
	Conformal mapping to plate and airfoil profil

Viscosity	Viscosity and dissipation
	Reynolds number, Reynolds scaling
	Hagen-Poiseuille laminar flow
	Reversibility and d'Alembert's paradox
	Stokes formula for the drag
	Prandtl boundary layer
	Flow between rotating cylinders
	Taylor-Couette instability
	The boundary layer and the wake
Turbulence	Stability condition for laminar flow
	Turbulence instability and energy transfer
	Developed turbulence
	Energy cascade and Kolmogorov scaling

Quantenmechanik II

Themen	Unterthemen
Quantisierung des Strahlungsfeldes, Strahlung und Materie	Das klassische Feld
	Der Feldoperator
	Das Atom im Strahlungsfeld
	Absorption und Emission
Identische Teilchen	Die Symmetrische Gruppe S_n
	Das Pauli-Prinzip
	Fermionen und Bosonen
Atome	Das Atommodell
	Hartree & Hartree-Fock Approximation
	Thomas-Fermi Atom
	Schalenmodell und Periodensystem
	Hundsche Regeln
Moleküle	Born-Oppenheimer-Approximation
Zweite Quantisierung	Der Fock-Raum
	Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren
	Besetzungszahldarstellung
	Feldoperatoren
	Observablen in der Fock-Darstellung
	Korrelationsfunktionen für Fermionen und Bosonen
Feldtheorie für Bosonen	Photonen
	Phononen
Quantenstatistik	Zustände, Dichtematrix und Erwartungswerte
	Unabhängige Teilchen
	Ensembles
	Ideale Quantengase
	Ideales Fermigas
	Ideales Bose-Gas, Bose-Einstein-Kondensation
Relativistische Quantenmechanik	Klein-Gordon Gleichung
	Dirac Gleichung