PRÜFUNGSFRAGEN – Grundlagen der Physik Ia

(Vorlesung Prof. Aumayr / Werner)

(Anmerkung: Wenn nichts dabeisteht, ist immer auch das **Prinzip der Ableitung** verlangt,
außer es wird die **genaue Ableitung** durch ☑ gefordert;
trotzdem Hauptaugenmerk stets auf das ***physikalische Verständnis*** legen!)

(Grundlage: Demtröder, Experimentalphysik 1)

Achtung: die Seitenangaben und Gleichungsnummern beziehen sich auf die Auflage 6 von Demtröder 1 (allerdings ohne Gewähr!)

- Grundgrößen in der Physik, ihre Normale und Messverfahren

Definitionen und Messverfahren für Längen-, Zeit-, Massen-, Stoffmengen-, Temperatur-, el. Stromstärke- und Winkeleinheiten; Maßsysteme

- Messgenauigkeit und Messfehler

Systematische Fehler, statistische Fehler: arithmetisches Mittel, wahrer Wert, Fehler e und e_i, mittlerer Fehler des arithmetischen Mittels und Fehler der Einzelmessung (= Standardabweichung) (nur Endformeln ohne Ableitungen); Fehlerverteilungsgesetz: Normalverteilung / normierte Gaußfunktion [(1.18) explizit - auch graphisch gem. Abb. 1.34 - sowie Diskussion der Vertrauensbereiche]; Fehlerfortpflanzung: nur Merksatz und Beziehungen (1.29) und (1.30); Ausgleichsrechnung (nur Prinzip)

- Mechanik des Massenpunktes

Modell des Massenpunktes, Ortsvektor, Bahnkurven, Geschwindigkeit und Beschleunigung; gleichförmig beschleunigte Bewegung, freier Fall ☑ und schräger Wurf ☑; gleichförmige Kreisbewegung (Winkelgeschwindigkeit, Zentripetalbeschleunigung, Vektor der Winkelgeschwindigkeit), allgemeine krummlinige Bewegung [nur Prinzip sowie (2.16)]

- Kräfte; Grundgleichungen der Mechanik

Vektor-Addition von Kräften, Kräftegleichgewicht bei einem Körper, Kraftfelder, Messung von Kräften (Federwaage); Newtonsche Axiome (mit Beispielen), träge und schwere Masse; ortsabhängige Kräfte; Beschleunigung einer Rakete (nur Prinzip)

- Energiesatz in der Mechanik

Arbeit (Def., Einheit, Linienintegral), Leistung (Def., Einheit); konservative Kraftfelder [Merksatz (2.37)]; potentielle Energie (Vorzeichenkonvention, Beispiel Gravitationsfeld); Energiesatz der Mechanik / Einführung der kinetischen Energie ☑; Zusammenhang zwischen Kraftfeld und Potential inkl. Def. des Gradienten sowie des Nabla-Operators und des Gravitationspotentials

- Drehimpuls und Drehmoment; Gravitation und Planetenbewegungen

Drehimpuls und Drehmoment als Vektorprodukte, Erhaltung des Drehimpulses in Zentral-feldern ☑; Keplersche Gesetze (inkl. graphischer Darstellung des Flächensatzes gem. Abb. 2.47), Newtonsches Gravitationsgesetz, Planetenbahnen (nur prinzipielle Vorgangsweise und Diskussion der möglichen Bahnformen in Abhängigkeit von der Gesamtenergie gem. Abb. 2.50)

- Gravitationsfelder ausgedehnter Körper

Gravitationsfelder einer Hohlkugel ☑ (mit Diskussion anhand Abb. 2.53) und einer homogenen Kugel (nur Diskussion anhand Abb. 2.54), experimentelle Bestimmung der Gravitations-konstante und der Erdbeschleunigung (Ableitung mathematisches Pendel bis (2.87) ☑; Einfluss von der Auslenkung gem. Abb. 2.61)

- Bewegte Bezugssysteme

Inertialsysteme und Galilei-Transformation, geradlinig beschleunigte Bezugssysteme; rotierende Bezugssysteme: Ableitung der Coriolis- und Zentrifugalbeschleunigung ☑, Diskussion von Coriolis- und Zentrifugalkraft mit Beispielen, Foucault-Pendel

- Lorentz-Transformationen

Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Lorentz-Transformationen (nur Prinzip der Ableitung über die kugelförmige Ausbreitung eines Lichtblitzes und Linearität der Transformationen, (3.26) und (3.26a) explizit), Additionstheorem für Geschwindigkeiten (3.28) (inkl. Ableitung für u_x' ☑)

- Spezielle Relativitätstheorie

Postulate der speziellen Relativitätstheorie, Problem der Gleichzeitigkeit (Diskussion anhand Abb. 3.19 und 3.20); Minkowski-Diagramme; Lorentz-Kontraktion von Längen ☑, Relativität der Längenkontraktion; Zeitdilatation ☑ (inkl. Lebensdauern relativistischer Myonen und Ableitung der Zeitdilatation mit Einsteins Licht[impuls]uhr gem. Abb. 3.29 ☑); Diskussion des Zwillings-Paradoxons, Raumzeit-Ereignisse und Kausalität

- Systeme von Massenpunkten

Massenschwerpunkt: Def. von $\boldsymbol{r}_s$, $\boldsymbol{v}_s$, $\boldsymbol{P}$, $\boldsymbol{F}$ und E_{kin} mit Merksätzen; reduzierte Masse mit zugehöriger Bewegungsgleichung (4.10), Drehimpuls eines Teilchensystems ☑ mit Merksätzen

- Stöße zwischen zwei Teilchen

Grundgleichungen, Unterscheidung elastische, in- und superelastische Stöße; elastische Stöße im Laborsystem, zentrale elastische Stöße (max. Energieübertrag gem. Abb. 4.10; Merksätze), Beispiel Stoß eines Teilchens gegen eine feste Wand, elastische Stöße im Schwerpunktssystem (Merksätze); inelastische Stöße (max. Energieübertrag, Merksätze, Beispiele dazu); Streuung in kugelsymmetrischem sowie im Coulombpotential (Def. des Stoßparameters, Skizze der Situationen, Abhängigkeit $\theta(b)$ bzw. $\vartheta(b)$ mit Bahnkurven gem. Abb. 4.24); reaktive Stöße (endo- und exotherm)

- Stöße bei relativistischen Energien

Relativist. Massenzunahme *(nur formal – Masse ist als Körpereigenschaft Lorentz-invariant!!! – man sollte besser nur von Ruhemasse und relativist. Impuls und relativist. Energie sprechen)*, Kraft und relativist. Impuls sowie relativist. Energie ☑ (Ableitung über Einsteins Gedanken-experiment), Lorentz-Invariante für die Gesamtenergie (4.51) bzw. besser eine Formel darüber

- Erhaltungssätze

Wiederholung Def. abgeschlossenes System, Impulserhaltungs-, Energieerhaltungs- und Drehimpulserhaltungssatz

- Dynamik starrer ausgedehnter Körper

Modell des starren Körpers, Def. Massenschwerpunkt, Bewegung eines starren Körpers um eine raumfeste Achse; Kräfte und Kräftepaare, Prinzip der Balkenwaage; Trägheitsmoment und Rotationsenergie ☑, Steinerscher Satz ☑, Trägheitsmomente von dünner Scheibe ☑, Hohlzylinder ☑, Vollzylinder ☑, dünnem Stab ☑ und homogener Kugel; Bewegungsgleichung der Rotation eines starren Körpers: Beispiele rollender Zylinder auf schiefer Ebene ☑ und Maxwellsches Rad; Vergleich von Translation und Rotation anhand Tab. 5.2

- Rotation um freie Achsen; Kreiselbewegungen

Trägheitstensor und Trägheitsellipsoid (allg. Darstellung ohne Ableitungen), Hauptträgheits-momente [(5.39), (5.42) und (5.43)], Def. der möglichen Kreiselformen, freie Achsen; Eulersche Gleichungen (nicht explizit verlangt), kräftefreier symmetrischer Kreisel (Beschreibung der möglichen Bewegungen: Nutation ($\propto \omega_c$!), Präzession ($\propto 1/\omega_c$!), Überlagerung von Nutation und Präzession); Kreiselkompass (Funktionsprinzip), die Erde als symmetrischer Kreisel

- Freier ungedämpfter harmonischer (mechanischer) Oszillator

Herleitung der Schwingungsgleichung mit Lösung gem. Lösungsansatz (11.2) ☑, Verschiedene Darstellung von Schwingungen (11.4a-d), Def. von Schwingungsdauer, Schwingungsfrequenz, Kreisfrequenz und Phase; eindimensionale Überlagerung von Schwingungen: 2 Schwingungen gleicher Frequenz und 2 verschiedener Frequenzen (Schwebungen) ☑, Prinzip der Fourier-Analyse (mit Beispiel der Rechteckfunktion, Dreiecksfunktion); zweidimensionale Überlagerung: Prinzip der Lissajous-Figuren

- Freier gedämpfter (mechanischer) Oszillator

Herleitung der allgemeinen Bewegungsgleichung (11.15) und deren allg. Lösung (11.17a) ☑; Diskussion der Fälle der schwachen Dämpfung (mit Lösung (11.17c), Abb. 11.17 und Merksatz), der starken Dämpfung (mit Lösung (11.19c) und Merksatz) und des aperiodischen Grenzfalls (mit Lösung (11.21) und Abb. 11.18), Energiebilanz bei der gedämpften Schwingung

- <u>Erzwungene Schwingungen</u>

Aufstellen der Bewegungs- bzw. inhomogenen Differentialgleichung (11.22a bzw. b) mit deren allg. Lösung (11.23a) ☑ mit Diskussion von ω_1 ; stationärer Zustand: Lösungsansatz (11.23b), Diskussion der Phasenverschiebung gem. Abb. 11.20 und Amplitudenbetrag, Diskussion des Resonanzverhaltens (= komplexe Darstellung) gem. Abb. 11.21 mit Realteil ($\hat{=}$ elastische Amplitude [schwarz]; kein Energieverbrauch) und Imaginärteil ($\hat{=}$ absorptive Amplitude [rot]; verbraucht dauernd Energie, Max. bei Resonanzfrequenz), Diskussion von ω_R (11.27d); Energiebilanz bei der Schwingung eines Massenpunktes (Diskussion der aufgenommenen Leistung anhand Abb. 11.24)

- <u>Gekoppelte Oszillatoren</u>

Nur allg. Diskussion des Verhaltens zweier gekoppelter Oszillatoren an den Beispielen Abb. 11.26 und 11.28, Normalschwingung 1 (= Grundschwingung): beide Massen in Phase (Kopplungsfeder unbelastet), Normalschwingung 2: gegenphasiges Schwingen (Kopplungsfeder belastet);

- <u>Mechanische Wellen</u>

Def. von Wellenvorgang, Wellenlänge, Wellenzahl, ebener Welle, Phasengeschwindigkeit, Ableitung von (11.56b) ☑ verschiedene Darstellungen harmonischer ebener Wellen (11.57) – (11.58c); Ableitung der Wellengleichung ☑ (11.63); ebene Wellen in z-Richtung (Unterscheidung transversal und longitudinal, linear und elliptisch polarisierte Welle), ebene Wellen mit beliebiger Ausbreitungsgeschwindigkeit, allg. Wellengleichung (11.69); Kugelwellen (11.71b); Schallwellen in Gasen [zugehörige Phasengeschw. (11.82a)]; Erläuterung der Dispersion, Dispersionsrelation (11.89a), Phasen- und Gruppengeschwindigkeit, Ableitung der Gruppengeschwindigkeit (11.93b) ☑

- <u>Stehende Wellen</u>

Eindimensionale stehende Wellen (s. Kap. 11.12.1), Reflexion am freien und festen* Ende (Phasensprung!) gem. Abb. 11.67, stehende Wellen einer eingespannten Saite, Erläuterung Kundtsche Staubfiguren (Abb. 11.68) und Cladnische Klangfiguren (Abb. 11.74)

- <u>Wellen bei bewegten Quellen</u>

Klassischer Dopplereffekt (DE) (s. Kap.11.13.1): Ableitung des kl. Dopplereffekts in Medien für bewegte Quelle sowie bewegten Beobachter ☑, allg. Fall (11.121) für die Doppler-Verschiebung; im Vergleich dazu: relativistischer Dopplereffekt (vgl. Abb. 3.32 und Formel p. 96 rechts unten sowie beiliegenden ***Anhang***): Ableitung des relativistischen longitudinalen DEs ☑ mit Diskussion im Vergleich zum klass. Fall, transversaler DE; Wellenfronten bei bewegten Objekten: Stoßfront/Kopfwelle, Machkegel (nur bis (11.124) sowie Abb.11.76 und 11.79)

- <u>Akustik</u>

Grobe Einteilung der Schallbereiche, Def. von Ton, Klang, Geräusch, Knall sowie Hörschwelle, Lautstärke, Schallschnelle, Schalldruckpegel; Erzeugung von Schallwellen, Schalldetektoren, Ultraschall mit Anwendungen

Anhang (diese Ableitung gehört noch zu GLP Ia):

Der relativistische Dopplereffekt

Für elektromagnetische Wellen macht es keinen Unterschied, ob sich Sender oder Empfänger bewegen, da kein Medium zur Ausbreitung benötigt wird;
--> nur die *Relativgeschwindigkeit* ist entscheidend !

Relativistischer longitudinaler Dopplereffekt

System S und dagegen mit gleichförmigem v bewegtes System S' längs der x-Achse betrachtet: Sender ruhe in S bei x = 0 und sende zur Zeit t = 0 bzw. zur Zeit t = τ je einen Lichtimpuls aus.

Der erste Impuls möge in S' bei x' = 0 zur Zeit t' = 0 empfangen werden, während für den zweiten Impuls gilt (Lorentztransformation von Länge und Zeit):

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{-v\tau}{\sqrt{1-\beta^2}} \; ; \; t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\tau}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad .$$

Wie groß ist in S' die Zeit zwischen den beiden Impulsen am Punkt x' = 0 ?
Das Licht benötigt in S' die Zeit $\Delta t'$, um von x' nach 0 zu gelangen:

$$\Delta t' = \frac{x'}{c} = \frac{v\tau/c}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad .$$

Somit ist die Zeit des Eintreffens bei x' = 0 zwischen den beiden Impulsen (für den Wegflug):

$$\mathbf{t'+\Delta t'} = \tau\frac{1+\mathbf{v/c}}{\sqrt{1-\beta^2}} = \tau\frac{\sqrt{1+\beta}}{\sqrt{1-\beta}} \quad .$$

Stellt man sich nun eine periodische Folge solcher Impulse vor, so kann man dies auch als Wellenvorgang interpretieren, die Frequenz verhielte sich dabei verkehrt prop. den Zeitintervallen, und es ergibt sich für die Frequenzänderung:

$$\nu' = \nu\frac{\sqrt{1-\beta}}{\sqrt{1+\beta}} \;, \text{ bzw. } \lambda' = \lambda\frac{\sqrt{1+\beta}}{\sqrt{1-\beta}} \quad .$$

Taylor-Entwicklung für die Frequenzverschiebung:

$$\nu' = \nu\frac{1-\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} = \nu(1-\beta)\left(1+\frac{\beta^2}{2}+\ldots\right) \doteq \nu\left(1-\beta+\frac{\beta^2}{2}\right) ,$$

Das Ergebnis stimmt nur in 1. Näherung mit dem klass. Dopplereffekt überein.
Bei größerer Messgenauigkeit lässt sich aber bereits das **quadratische Glied** nachweisen (*H. Ives* und *G. Stilwell* bei relativistischen Wasserstoff-Molekülionen, [J. Opt. Soc. Am. **28**, 215 (1938); **31**, 369 (1941)])

Transversaler Dopplereffekt

Betrachtet man einen bewegten Lichtsender *senkrecht* zu seiner Flugbahn, so ergibt die klassische Näherung keinerlei Dopplerverschiebung, wohl aber die relativistische; denn auch für den transversal beobachtenden Empfänger tritt die *Zeitdilatation* auf, weshalb sich die Frequenz verkehrt prop. dem Zeitintervall verhalten muss:

$$\nu' = \frac{1}{\gamma}\nu = \nu\sqrt{1-\beta^2}\ .$$

Da hier die erste Abweichung vom klassischen Nullresultat quadratisch ist, kann der Effekt nur bei größerem β nachgewiesen werden, was ebenfalls anhand von Spektren schnell fliegender Atome gelingt.