

Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

Teil I: Mechanik - Wellen

Mechanik:

■ Kinematik

- Gleichförmige Bewegung - Beschleunigte Bewegung - Kreisbewegung
- Allgemein: $a = \dot{v} = \ddot{s}$

■ Dynamik

- Grundgleichung: $F = m a$
 - Federkraft: $F_D = D s$ Gewichtskraft: $G = m g$
- Kräfte werden vektoriell addiert -- Kräfte-Zerlegung im Dreieck, z. B.
 - Hangabtrieb: $F_H = G \sin(\alpha)$ und Normalkraft (auf Unterlage): $F_N = G \cos(\alpha)$
 - Reibung: $F_{\text{haft}} = f_{\text{haft}} F_N$
- Zentripetalkraft: $F_z = m v^2/r$

■ Energetik

- Arbeit = Weg mal Kraft in Weg-Richtung
- Lageenergie – kinetische Energie – potentielle Energie
- EES: Summe der Energie bleibt erhalten

■ Leistung = Arbeit pro Zeit

- Allgemein: Ableitung nach der Zeit

■ Impuls = Masse mal Geschwindigkeit

Mechanische Schwingungen

■ Ansätze für **Federpendel und Fadenpendel!!!**

- Skizze mit wirkenden Kräften und Auslenkung s
- Kräfte addieren -> lineare Rückstellkraft $F = - D s \rightarrow$ DGL: $a = - D/m s$

- $s(t): s(t) = \hat{s} \sin(\omega t + \varphi)$ mit $\omega = \sqrt{D/m}$ Sinusfunktion mit

- Amplitude: maximale Auslenkung und Phase: aus Startbedingung

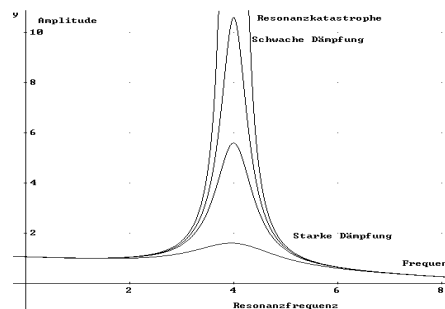
■ Weitere Beispiele: Schwingendes U-Rohr

■ Überlagerung von Schwingung:

- Über Zeigeraddition \rightarrow Auslöschung / Verstärkung

■ Erzwungene Schwingungen (nur Phänomen)

- Resonanzfrequenz \rightarrow Dort maximale Amplitude
- Phasenbeziehung
- Erklärung!!



Mechanische Wellen

■ **Lineare harmonische Querwellen**

- Wellengleichung $s(t) = \hat{s} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_0)$

- Ausbreitungsgeschwindigkeit c , Schnelle v , Wellenlänge λ

■ Zeitliches Bild (an einem festen Ort x_0)

- Schwingung mit Phasenverschiebung mit Periode T

■ Räumliches Bild (zu festem Zeitpunkt t_0)

- Periode = Wellenlänge // Vom „Kopf her“ zeichnen // verschiebt sich nach rechts bei $t > t_0$

■ **Reflexion** (im räumlichen Bild)

- Welle vom „Kopf her“ weiterzeichnen

■ Festes Ende:

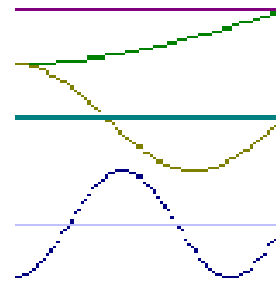
- Berg -> Tal // Knoten der Auslenkung / Schnelle an der Wand // Punktspiegelung

■ Freies Ende

- Berg -> Berg // Achsenspiegelung

Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

- **Stehende Wellen** (inkl. Erklärung!!)
 - Abstand zweier Knoten = halbe Wellenlänge
 - Teilchen zwischen zwei Knoten: in Phase!!
 - Durch zwei entgegelaufende Wellen bei gleicher Frequenz
 - Durch Reflexion an einem Ende: Immer
 - Durch Reflexion an zwei Enden:
 - Nur wenn Verhältnis Länge zu Wellenlänge stimmt
 - Orientierung: festes Ende = Schnelleknoten ...
- **Interferenz**
 - Gangunterschied = geometrische Weg-Differenz
 - konstruktiv: $\delta = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$
 - destruktiv: $\delta = 0.5 \lambda, 1.5 \lambda, 2.5 \lambda \dots$
 - Eindimensional:
 - durch zwei gleichlaufende Wellen gleicher Frequenz
 - Zweidimensional:
 - Wellen gleicher Frequenz (evtl. Spalt, Gitter)
 - Wegunterschiede: evtl. Pythagoras
 - Näherungen wie in der Optik, wenn sinnvoll



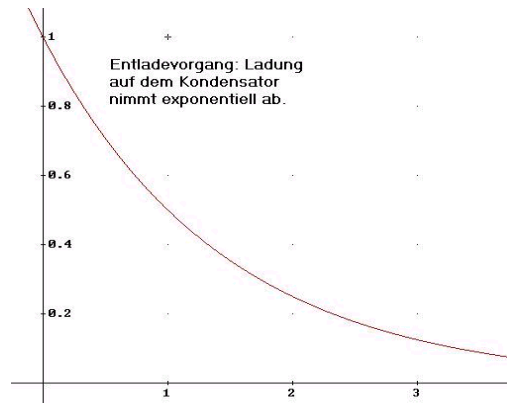
Teil II: E- und B-Felder

E-Feld

- **Einführung des E-Feldes** (Elektrische Feldstärke)
 - Feldlinienbilder
 - „**Rasierklingen-Experiment**“:
 - Einführung der Größe E
 - Skizze mit Kräften: G und $F_{el} = G \tan(\alpha)$
 - Beobachtung: $\alpha \sim q$ (bei kl. Winkeln) $\rightarrow F \sim q \Rightarrow E$ als Proportionalitätsfaktor
 - E unabhängig von Probeladung: $E = F/q$
- **Einführung der Spannung U**
 - Arbeit = Kraft mal Weg
 - Experiment im homogenen Feld des Plattenkondensators \rightarrow Platten auseinander ziehen
 - $W = F_{el} d = q E d \rightarrow$ Somit: $W \sim q$
 - Allgemeine Beobachtung: $W \sim q$
 - U als Proportionalitätsfaktor \rightarrow U unabhängig von Probeladung: $U = W/q$
 - Bedeutung
 - Maß der Energie - entsteht durch Ladungstrennung
 - Potential φ = Spannung zwischen zwei Punkten
- **Flächendichte σ** = Ladung pro Fläche
- **Einführung der el. Feldkonstante ϵ_0**
 - „Löffel-Experiment“ im Kondensator
 - bei höheren Spannung mehr Ladung auf Löffel
 - ... $\Rightarrow \sigma \sim E$
 - \Rightarrow Ladungen sind Quellen des Feldes
 - Einführung der el. Feldkonstante $\epsilon_0 = \sigma/E$
 - Bedeutung:
 - „pro Ladung entsteht eine bestimmte Anzahl von Feldlinien“
 - „Ladungen dicht gepackt = hohe Flächenladungsdichte“
 - \Rightarrow starkes E-Feld
- **Einführung der Kapazität C**
 - Probelöffel, Spannung erhöhen $\Rightarrow Q \sim U$
 - C als Proportionalitätsfaktor: $U: C = Q/U$
 - Bedeutung: Ladungsmenge auf Kondensator pro Volt angelegter Spannung
 - Herleitung der Formel beim Plattenkondensator

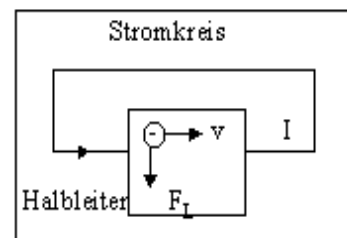
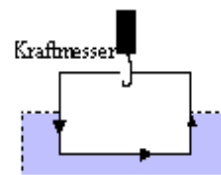
Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

- $C = Q/U = \sigma A / (E d) = \epsilon_0 E A / (E d) = \epsilon_0 A / d$
 - Technische Realisierung: Blockkondensatoren ...
- **Dielektrizitätszahl ϵ_r**
 - Berücksichtigung des Mediums
 - Erklären: Hineinschieben eines Dielektrikums
 - z. B.: $Q = \text{const.}$ aber $U \downarrow$
 - \Rightarrow Verschiebungspolarisation: E-Feld wird abgeschirmt ...
 - \Rightarrow Orientierungspolarisation
- **Energie des elektrischen Feldes**
 - Experiment: Kondensator wird auseinandergezogen $\rightarrow W = 0,5 C U^2$
- **Kondensator - Aufladung - Entladung**
 - Spannungsansatz: $U_0 = U_R + U_C$ // DGL aufstellen
 - Beschreiben - erklären: Ladung/Strom/Spannungsverlauf
 - Aus $Q(t)$ -Diagramm
 - $I(t)$: Steigung
 - $R = U_0 / I(0)$
 - $C = Q(0) / U_0$
 - Aus $I(t)$ -Diagramm
 - $Q(t)$: Trapez-Fläche
 - $R = U_0 / I(0)$
 - C : über $U_C = U_0 - RI$
 - Zusatz: $T_H = RC \ln(2)$
- **Reihenschaltung** (vgl. „Wasserfall“)
 - Ströme, Ladungen gleich („Wassermenge“) // Spannungen addieren („Fallhöhe“)
 - Widerstände:
 - $U = U_1 + U_2 = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$
 - Kondensatoren: $U = U_1 + U_2 = Q/C_1 + Q/C_2 = Q (1/C_1 + 1/C_2)$
- **Parallelschaltung**
 - Ströme, Ladungen addieren („Wassermenge“) // Spannungen gleich („Fallhöhe“)
 - Widerstände: $I = I_1 + I_2 = U/R_1 + U/R_2 = U (1/R_1 + 1/R_2)$
 - Kondensatoren: $Q = Q_1 + Q_2 = C_1 U + C_2 U = (C_1 + C_2) U$



B-Feld

- **Einführung von B**
 - Magnetische Flussdichte \rightarrow Experiment: „Leiterschleife hängt in großer Spule“
 - $F_L \sim I$ und $F_L \sim s \Rightarrow B = F_L / (I s)$
 - Drei-Finger-Regel der linken Hand
 - Daumen: physikalische Stromrichtung // Zeigefinger B // Mittelfinger: Lorentzkraft
 - Beachte: Falls s und B nicht senkrecht: Nur senkrechte Komponente von B berücksichtigen!!
- **Lorentzkraft:**
 - für Strom: $F_L = I s B$
 - für geladene Teilchen: $F_L = q v B$
- **Hall-Effekt:** Querablenkung der Elektronen ... Erklären!!
 - Elektronen durch F_L nach „unten“ \rightarrow „unten“ wird negativ
 - Elektr. Kraft wirkt entgegengesetzt
 - $F_L = F_{el} \Rightarrow B e v = e U_{Hall} / d \Rightarrow B = U_{Hall} / (d v)$
- **B-Feld einer langen Spule**
 - z. B. mit Hallsonde oder Leiterschleife messen
 - Erregerstromstärke der Spule: $B \sim I_{Err}$
 - Durchmesser: keinen Einfluss auf die Flussdichte
 - Wicklungsdichte n/l der Spule: $B \sim n/l$
 - $\Rightarrow B \sim n/l \cdot I_{Err}$



Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

- Proportionalitätskonstante heißt **magnetische Feldkonstante** $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$
- Berücksichtige evtl. das Medium: **Permeabilitätszahl** μ_r

Teilchen

■ Teilchen im E-Feld

- Elektronen werden entgegen den Feldlinien beschleunigt
- Aus der Ruhe: Beschleunigung
 - Energie-Ansatz: $W_{el} = W_{kin}$ // Dynamik: $F_{el} = m a$ // Kinematik: $v = a t$ und $s = 0.5 a t^2$
- $v \parallel E$: Beschleunigung / Abbremsen
 - Energie-Ansatz: $W_{kin}(nach) = W_{kin}(vor) + W_{el}$
 - Dynamik: $F_{el} = m a$ // Kinematik: $v' = v + a t$ und $s = 0.5 a t^2 + v t$
- $v_x \perp E$: Querablenkung (z. B. im Kondensator)
 - Mit $v_x = s/t$ Aufenthaltszeit berechnen
 - In y-Richtung: s. o. („aus der Ruhe“) ... => v_y und s_y
 - Ablenkwinkel: $\tan(\alpha) = v_y/v_x$
- v schräg zu E: Zerlegung in zwei Komponenten ...

■ Teilchen im B-Feld

- Lorentzkraft: Positive Ladungen \Leftrightarrow Rechte-Hand-Regel
- $v \parallel B$: -----
- $v \perp B$: Kreisbahn
 - Kraftansatz: $F_z = F_L \Rightarrow$ z. B. r oder v oder B ...
 - Energie: unverändert, da $v \perp F$
 - Bei Eintritt / Austritt: Tangential
 - Schikane 1: $v \parallel E$: Spirale ($v \uparrow \Rightarrow r \uparrow$)
 - Schikane 2: $B \parallel E$: Schraubenbahn ($v_y \uparrow \Rightarrow h \uparrow$)
- v schräg zu B: Zerlegung in zwei Komponenten
 - $v_x \perp B$: Kreisbahn ... Kraftansatz \Rightarrow Umlaufdauer $T = 2\pi r/v_x$
 - $v_y \parallel B$: Ganghöhe $h = v_y T$
 - Ergibt Schraubenbahn
 - Schikane: $E \parallel B$: $v_y \uparrow \Rightarrow h \uparrow$

■ Teilchen in gekreuztem E- und B-Feld

- $v \perp E \perp B$:
 - Gilt: $F_L = F_{el} \Rightarrow$ keine Ablenkung bei $v = E/B$
 - Anwendung: Geschwindigkeitsfilter

■ Experimente:

- Millikan-Versuch: Bestimmung von e (Schweben ... $G = F_{el}$...)
- Erzeugung eines Elektronenstrahl
- Braunsche Röhre
- Wehneltöhre mit Helmholtz-Spulen / : Bestimmung von m
- Geschwindigkeitsfilter („Wien'scher Filter“)
- Massenspektrometer
- Zyklotron („B-Feld-Dose mit E-Feld-Spalt“) mit Zyklotronfrequenz

Teil III: Induktion - EM-Wellen

Induktion

■ Faradays Induktionsgesetz $U_{ind} = -n\dot{\Phi} = -n(\dot{B}A_s + B\dot{A}_s)$

- magnetischer Fluss $\Phi = B A_s$
 - „Feldlinien-Dichte“
 - wichtig: senkrechte Fläche!!!
- Induktion durch Flächen-Änderung**
 - Ursache: Lorentz-Kraft
 - Experiment: Leiter auf Schienen ... \rightarrow „Abkürzung“: $U_{ind} = n B d v_s$
 - Experiment: Leiter dreht sich \rightarrow „Abkürzung“: $U_{ind} = n B A \omega \cos(\omega t)$

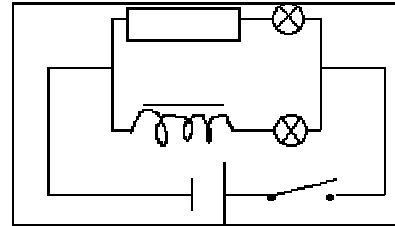
Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

■ Induktion durch B-Feld-Änderung

- Experiment: große Spule in kleiner Spule
 - In großer Spule Strom verändern $\rightarrow B = \mu_0 \cdot n/l \cdot I_{err}$
- Ursache: Elektrisches Wirbelfeld
 - linke Hand-Regel
 - Experiment:
 - stark veränderliches B-Feld \rightarrow Elektronen auf Kreisbahn beschleunigt \rightarrow Leuchten!

■ Lenzsches Gesetz (= Vorzeichen)

- „Induktionsspannung ist so gepolt:“
- Wenn ein Induktionsstrom fließt, dann wirkt er seiner Ursache entgegen
- Bsp.: Strom wirkt B-Feld Abnahme entgegen
- Technische Anwendung: Wirbelstrombremse

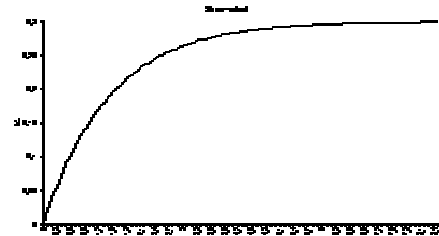


■ Selbstinduktion

- Experiment „Verspätetes Lämpchen“
- Lämpchen bei der Spule leuchtet erst mit Verspätung auf
- Durch Einschaltvorgang wird in Spule U_{Ind} erzeugt, die den Anstieg abbremst
- $U_{Ind} \sim I'$ („I Punkt“) $\Rightarrow L \dots$

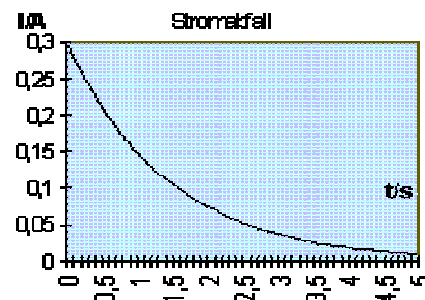
■ Spule - Einschalten

- Spannungsansatz: $U_1 = U_R + U_L$ // DGL aufstellen
- Beschreiben - erklären:
 - Strom
 - Spannungsverlauf
- Aus $I(t)$ -Diagramm
 - $R = U_1 / I_\infty$
 - L : über Tangente bei $t=0$



■ Spule - Ausschalten

- Spannungsansatz: $0 = U_R + U_L$ // DGL aufstellen
- Beschreiben - erklären:
 - Strom
 - Spannungsverlauf
- Aus $I(t)$ -Diagramm
 - $R = U_1 / I(0)$
 - L : über Tangente bei $t=0$
- Zusatz: $T_H = L/R \ln(2)$



■ Energie in Spule

- $W(t) = 0.5 L I^2(t) \rightarrow$ Energie steckt im B-Feld
- Damit wird z. B. beim Ausschalten das Lämpchen weiter betrieben

■ Energie im Kondensator

- $W(t) = 0.5 C U^2(t) \rightarrow$ Energie steckt im E-Feld

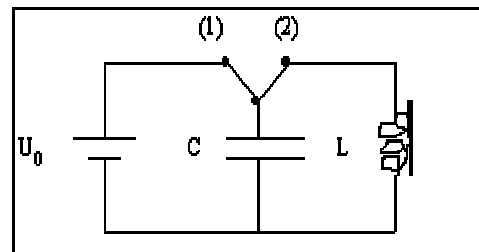
■ Wechselstrom-Erzeugung

- Durch rotierende Spule $\rightarrow \hat{U} = n B A \omega$ (über Induktionsgesetz)
- Mit Amplitude \hat{U} und Phase ωt

EM-Schwingungen

■ (R)LC-Kreis: parallel (Sperrkreis)

- (1): Aufladen von C mit U_0 auf $Q_0 = CU_0$
- (2): Entladen von C über L
 - Spannungsansatz: $0 = U_C + U_L \Rightarrow$ DGL: $Q'' = -1/(LC) Q$
 - \Rightarrow Lösung für $Q(t)$: Sinus-Schwingung mit $\omega = 1/\sqrt{LC}$
 - Aus Randbedingungen: Amplitude und Phase
 - $I(t) = Q'(t)$ und $U_C(t) = Q(t)/C$
- Erklären!!



Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

- Entladen \Rightarrow Strom steigt \rightarrow Spule: U_{ind} gegen Stromanstieg
- B-Feld in Spule speichert W
- $Q = 0$: Strom sinkt \rightarrow Spule: U_{ind} gegen Stromabfall \rightarrow Kondensator lädt sich auf ...
- Vergleich Federpendel - LC-Kreis
 - Kraftansatz – Spannungsansatz // Auslenkung – Ladung // Geschwindigkeit – Strom
 - Masse – Induktivität // Federkonstante – 1/Kapazität
- Erzwungene Schwingungen
 - LC-Kreis (ohne Spannungsquelle)
 - Anregung von außen: z. B. über 2.te Spule und deren B-Feld \rightarrow „übliche“ Resonanzphänomene
- **Hochfrequente Schwingungen**
 - $\omega = 1/\sqrt{LC}$
 - L verringern: $n \downarrow$ // C verringern: $A \downarrow$ und $d \uparrow$
- \Rightarrow ... Hertzscher Dipol: Stab der Länge l
 - Im Wechsel an den Spitzen + / - Pol: E-Feld
 - Im Wechsel: Strom nach unten / oben: B-Feld
 - Eigenschwingungen: $l = k \lambda/2$

EM- Welle

- **Hertzscher Dipol**
 - Felder lösen sich:
 - Veränderliches E-Feld (analog Strom): erzeugt B-Feld
 - Veränderliches B-Feld: erzeugt E-Feld (Wirbelfeld ohne Ladung)
 - ... (sind in Phase – aber orthogonal)
 - $c = \lambda f$
 - **Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum:**
 - $c_0 = 1/\sqrt{(\mu_0 \epsilon_0)} \approx 3,0 \cdot 10^8$ m/s
 - Nachweis: z. B. mit stehender Welle (durch Reflexion)
 - Weitere Experimente: Zahnrad ...
 - Im Medium: $c_r = c_0/n$ mit $n = \sqrt{\epsilon_r}$ (μ_r in unseren Fällen 1)
 - **Nachweis der Welleneigenschaft:**
 - Reflexion / Interferenz / Stehende Wellen
- **Welleneigenschaften** (z. B. mit Mikrowellen)
 - Schwingungen von E- und B-Feldern („EM“)
 - E und B in Phase
 - Auch im Vakuum: ohne Wellenträger
 - Transversal: $E \perp c$ und $B \perp c$ und $E \perp B$
 - Linear polarisiert (E || Dipol)
 - Nachweis: Empfangsdiode drehen – Lämpchen erlischt
 - Absorption /Reflexion durch Leiter
 - Wird zu Schwingungen angeregt mit Phasenverschiebung π
 - Absorption: Auslöschung gleichlaufender Wellen
 - Reflexion: Stehende Welle
 - Gitter:
 - $E \perp$ Gitter: Welle geht ungehindert durch.
 - $E \parallel$ Gitter: dahinter Auslöschung
 - E schräg zum Gitter: Aufspalten in parallel und senkrecht
- **Stehende Welle**
 - z. B. ein Sender und Reflexion an Metallplatte
 - an Platte: E-Knoten und B-Bauch
 - Empfänger bewegt sich zwischen Sender und Platte
 - Empfangsdiode: reagiert auf E-Feld
 - Abwechselnd Minima (Knoten) und Maxima (Bäuche) \rightarrow Abstand zweier Knoten: $\lambda/2$
 - Sender bewegt sich auf Platte zu (von .. weg)
 - Empfänger zwischen Sender und Platte: Keine Veränderung
 - An Platte: immer ein Knoten ...

Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

- Platte bewegt sich auf Sender zu (von .. weg)
 - Empfänger zwischen Sender und Platte: Minima und Maxima
 - An Platte: immer ein Knoten, dieser bewegt sich also auch ...
- **Huygens-Prinzip**
 - „Jeder Punkt einer Wellenfront ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle“
- **Reflexionsgesetz:**
 - Einfallswinkel = Ausfallswinkel → Herleitung mit Huygens (!!)
- **Brechungsgesetz:**
 - Brechung zum Lot hin beim optisch dichteren Medium
 - $\sin(\alpha)/\sin(\beta) = n \rightarrow$ Herleitung mit Huygens (!!)
 - Totalreflexion: $\alpha = 90^\circ \Rightarrow \sin(\beta_{\text{grenz}}) = 1/n$

Teil IV: Optik - Quantenphysik

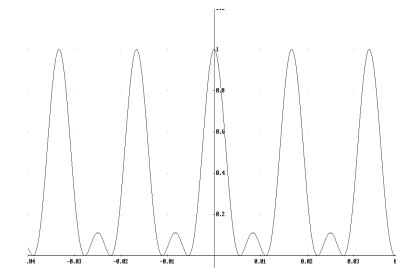
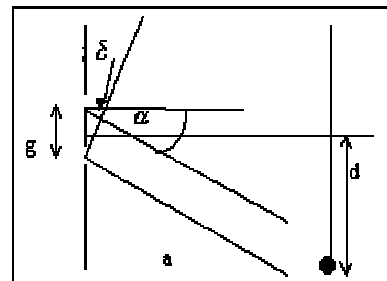
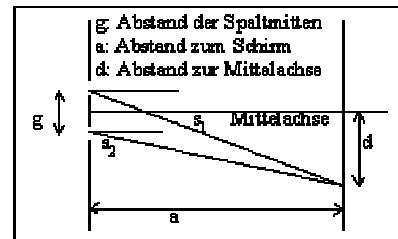
Optik

■ Licht ist eine EM-Welle

- Also schwingende E- und B-Felder
- $c \approx 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \rightarrow$ Im Medium langsamer
- λ : 400 - 800 nm für sichtbaren Bereich
- Reflexion und Brechung // Stehende Wellen (LASER)
- Interferenz:
 - Konstruktiv: Gangunterschied $\delta = k \lambda$ mit $k=0,1, \dots$
 - Destruktiv: Gangunterschied $\delta = (k+0,5) \lambda$ mit $k=0,1, \dots$

■ Interferenz am Doppelspalt

1. Idealisierung: Punktförmige Spalte
 - also Ausgangspunkt von Elementarwellen
 - Gangunterschied: $\delta = |s_1 - s_2|$
 - mit Satz von Pythagoras berechnen.
2. Vereinfachung: $a \gg g$
 - beide Strahlen "so gut wie" parallel
 - Gangunterschied $\delta = g \sin(\alpha)$
 - Auf Schirm gilt: $d = a \tan(\alpha)$
 - Maxima für: $\delta = k \lambda$
- Evtl.: 3. Vereinfachung: kleine Winkel: $\sin(\alpha) = \tan(\alpha)$
 - k-tes Maximum für: $d_k = a/g k \lambda$
- Zwischen zwei Maxima: Minimum $\delta = (k+0,5) \lambda$
- Spektrale Aufspaltung / Überlappung ...

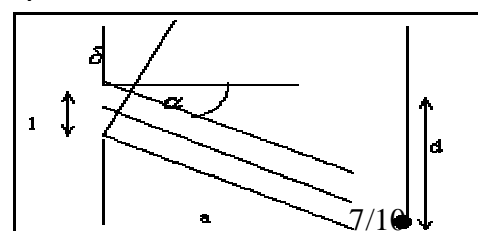


■ Interferenz am Gitter

1. Idealisierung: Punktförmige Spalte ...
2. Vereinfachung: $a \gg g$
 - $\delta = g \sin(\alpha)$ und $d = a \tan(\alpha)$
 - Maxima für: $\delta = k \lambda$
- Manchmal: 3. Vereinfachung: kleine Winkel: $\sin(\alpha) = \tan(\alpha)$
 - k-tes Maximum für: $k \lambda = g/a d_k$
- Gitter mit n Spalten:
 - Zwischen zwei Maxima:
 - n-1 Minima (Zeigeraddition – erklären): bei $\delta = (k + 1/n) \lambda$
 - n-2 Zwischenmaxima
 - Schärfere Maxima als beim Doppelspalt (wg. vieler Minima)
 - Zwischenmaxima bei großem n deutlich unterdrückt

■ Interferenz am Einzelspalt

1. Aufgabe der 1. Idealisierung: Punktförmige Spalte ...
 - $\delta = 0$: Hauptmaximum
2. Vereinfachung bleibt: $a \gg g$



Quanten

■ Modelle in der Physik

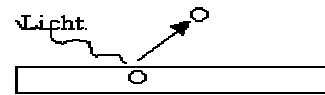
- „punktförmiges Teilchen“ für Elektronen und „EM-Welle“ für Licht
- Besseres Modell → Quantenobjekte (Besser = erklärt die Phänomene)

■ Quantenphysik:

- Welle- und Teilchencharakter → Quantenobjekte
- Photonen mit $W_{\text{Photon}} = h f$ und Quantisierung der Energie: $W_{\text{Licht}} = n W_{\text{Photon}}$

■ Photoeffekt

- Metallplatte (z. B. Cäsium) mit Licht bestrahlen
- Kleines f : nichts passiert – unabhängig von der Lichtintensität
- großes f : Elektronen werden herausgeschlagen
- Müssen gegen Spannung anlaufen, I messen
 - bei $I = 0$ gilt:
 - Kinetische Energie der Elektronen = elektrische Energie
 - $W_{\text{el}} = h f - W_A$
 - ⇒ Steigung der Geraden: $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (Planck-Konstante)
 - ⇒ y -Achsenabschnitt: W_A (Austrittsarbeit aus Platte)
 - Grenzfrequenz: $0 = h f_{\text{gr}} - W_A$



■ Röntgen-Bremsstrahlung

- Elektronen auf Anode: Photonen entstehen
- Charakteristisches Spektrum:
 - abhängig von Anodenmaterial (s. a. Atomphysik)
- Kontinuierliches Spektrum
 - Kleinstes Wellenlänge abhängig von Beschleunigungsspannung
 - Vorstellung: Elektron gibt gesamt Energie $e U$ an ein Photon an
 - $\lambda_{\text{min}} = c / f_{\text{max}} \rightarrow$ mit $h f_{\text{max}} = e U \rightarrow$ Daraus lässt sich ebenfalls h bestimmen

■ Einstein-Gleichung: $W = m c^2$

- Masse äquivalent zu Energie

■ Masse von Photonen $\rightarrow h f = m c^2 \Rightarrow m = h f / c^2 = h / (\lambda c)$

■ Impuls von Photonen: $p = m c \rightarrow h f = m c^2 \Rightarrow p = h / \lambda$ (De-Broglie-Formel)

■ Compton-Effekt

- Stoß von Photon an Elektronen \rightarrow Photon gibt Energie ab \Rightarrow Frequenz sinkt: „weicher“

■ Paarbildung:

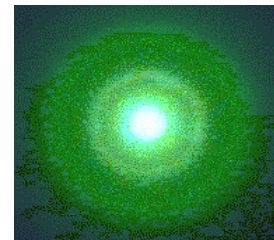
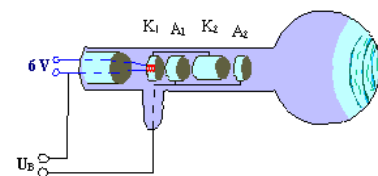
- Photon wird zu Elektron-Positron

■ Paarvernichtung:

- Elektron-Positron zerstrahlt zu Photonenpaar

■ Elektron als Quantenobjekt:

- Interferenzerscheinungen
- Experiment: Elektronenbeugungsröhre
 - Bragg-Reflexion: $2 d \sin(\varphi) = k \lambda$
 - Debye-Scherrer-Verfahren: polykristallin
 - $\tan(2\varphi) = R/L$ (L : Abstand Kristall-Schirm)
- Experiment: Doppelspalt-Experiment



■ Wellenlänge von Elektronen:

- $\lambda = h / p = h / (m v)$ (De-Broglie-Formel)
- Abhängig von Geschwindigkeit der Elektronen

■ Experimente

- Doppelspalt mit einzelnen Photonen, Elektronen, Atomen ...; Doppelspalt mit Polarisationsfolien
- Interferometer und Knallertest

■ Wesenszüge der Quantenphysik

- Wahrscheinlichkeitsvorausagen
- Nichtobjektivierbarkeit – Nichtlokalität
- Keine Mischergebnisse
- Ganzheitlichkeit der Messung

Überblick Physik 4-stündig - kurz vor dem Abi

- Unbestimmtheit
- **Zeigerformalismus**
 - Bornsche Wahrscheinlichkeits-Interpretation:
 - Ψ : Wahrscheinlichkeits-Amplitude / Wellenfunktion
 - Abhängig vom Weg und Wellenlänge \rightarrow Phase
 - Verschiedene Wege: Ψ - Zeiger interferieren
 - $|\Psi|^2 = P$: Wahrscheinlichkeit
 - Wahrscheinlichkeit des Auftreffens in einem Gebiet
 - Zwei ununterscheidbare Wege:
 - Ψ_1 und Ψ_2 interferieren $\rightarrow P = |\Psi_1 + \Psi_2|^2 = |\Psi_1|^2 + |\Psi_2|^2 + 2 \Psi_1 \Psi_2$
 - Quantenobjekt legt nicht Weg 1 oder Weg 2 zurück, sondern
 - Beide gleichzeitig / keinen von beiden
- **Heisenbergsche Unschärfe-Relation**
 - Nicht wegen schlechter Messung sondern prinzipiell:
 - Ort und Geschwindigkeit nicht zusammen bestimmbar: $\Delta x \Delta p = h$
 - \rightarrow Bahnbegriff ist nicht mehr sinnvoll
 - Experiment: Quantenobjekt am Einzelspalt
 - Energie und Zeit nicht zusammen bestimmbar: $\Delta W \Delta t = h$
 - \rightarrow virtuelle Teilchen für kurze Zeit und \rightarrow Tunneleffekt im Atom ...

Atom

- Franck-Hertz-Versuch:
 - Nachweis von diskreten Energie-Niveaus im Atom
- **Atommodelle:**
 - Bohr-Modell: „Planetenbahnen“
 - Quantenphysik: Orbitale = „Wahrscheinlichkeitswolken“
 - Geordnet mit Quantenzahlen, z. B. $n = 1, 2 \dots$
 - Diskrete Energie-Niveaus: $E(n)$
- **Spektrallinien**
 - Balmerreihe ...
- **Absorption** („Anregung von Atomen“)
 - Atom nimmt Energie auf: Wärme / Stoß / Photon \rightarrow Elektron „springt“ in eine äußere Schale
 - Absorptionsspektren: „schwarze Striche“
- **Emission**
 - Atom sendet Photon aus \rightarrow Elektron „springt“ in eine innere Schale $\rightarrow h f = \Delta W$
- **Lokalisationsenergie**
 - Elektronen in Potentialtopf \rightarrow mit UBR Geschwindigkeitsunschärfe \rightarrow Mindestenergie
- **Eindimensionaler, unendlicher tiefer Potentialtopf**
 - Stationäre Zustände \rightarrow scharfe Energieniveaus
 - Randbedingungen wie bei schwingender Saite \rightarrow diskrete Werte für \varnothing und ϵ
 - \rightarrow über DeBroglie: diskrete Werte der Energie
- **Schrödingergleichung** zur Bestimmung von \varnothing

Tipps:

- Theorie, Herleitungen, Experimente: selbst aufschreiben
 - Formeln: selbst zusammentragen
 - Abi-Aufgaben: Ohne Lösung bearbeiten
-

Zum Schluss noch eine letzte Rechnung:

Intensives Lernen der Theorie + Fleißiges Üben von Abi-Aufgaben = Viel Erfolg beim Abi

Wünscht euch Jörg Rudolf ;))