

Formelsammlung Experimentalphysik II

Juan, Janek

SS 21

Standpunkt: 4. Oktober 2021

-2 Umrechnungen

-2.0.1 Wissenschaftliche Notation

Zeichen	Faktor	Name
T	10^{12}	Tera
G	10^9	Giga
M	10^6	Mega
K	10^3	Kilo
H	10^2	Hekto
D	10	Deka
d	10^{-1}	dezi
c	10^{-2}	centi
m	10^{-3}	milli
μ	10^{-6}	mikro
n	10^{-9}	nano
p	10^{-12}	piko

-2.0.2 Druckeinheiten

Atmosphärendruck	[at]	1
Newton/Quadratmeter		101300
Pascal	[Pa]	101300
Hectopascal	[hPa]	1013
Kilopascal	[Kpa]	101.3
Millibar	[mbar]	1013
Bar	[bar]	1.013

-1 Konstanten

-1.0.1 Wärmelehre

1. Boltzmann-Konstante:

$$k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ [J K}^{-1} \text{]}$$

2. Avogadro Zahl:

$$N_A = 6,022\,147\,76 \cdot 10^{23} \text{ [mol}^{-1} \text{]}$$

3. Universelle Gaskonstante:

$$R = k_B N_A = 8,314\,54 \text{ [J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{]}$$

4. Thermischer Ausdehnungskoeffizient:

$$\gamma = \frac{1}{273,15}$$

-1.0.2 Elektrizität

1. Elektrische Feldkonstante:

$$\varepsilon_0 = 8,854\,187 \cdot 10^{-12} \text{ [A s V}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{]}$$

2. Elementarladung:

$$e = 1,602\,176 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

3. Masse Elektron:

$$m_e = 9,109\,383 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

4. Magnetische Feldkonstante:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$$

0 Wärmelehre

0.0.1 Wiederholung PEP 1

1. Ideales Gasgesetz:^a

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

2. Druck-Dichte-Temperatur:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

3. Gesetz von Gay-Lussac:^b

$$V(T) = V_0(1 + \gamma T)$$

4. Kraft:

$$F_n = p_{\text{Druck}} \cdot A$$
$$F = m \cdot A \cdot N \cdot v_x^2$$

5. Mittlere kinetische Energie:

$$\overline{E_{kin}} = \frac{3}{2} k_B \cdot T$$

6. Innere Energie:

$$U = N \cdot \overline{E_{kin}}$$

7. Thermisches Gleichgewicht:

$$c_A \cdot m_A (T - T_A) = c_B \cdot m_B (T - T_B)$$

^a n : Anzahl der Mole

^bWann anwendbar?

0.1 Hauptsätze der Wärmelehre

1. Hauptsatz:^a

$$-\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

-Es gibt kein Perpetuum Mobile erster Art.

2. Hauptsatz:

$$-\eta < 1$$

-Wärme fließt von selbst nur vom Wärmeren zum Kälteren

-Es gibt keine Maschine deren Wirkungsgrad größer ist als der der Carnot-Maschine

-In allen abgeschlossenen Systemen nimmt die Entropie im Laufe der Zeit zu $\Delta S \geq 0$

3. Hauptsatz:

-Es ist unmöglich den absoluten Nullpunkt zu erreichen. ($\Delta W \rightarrow \infty$)
 $-S(T=0) = S_0 \rightarrow \Delta S(T=0) = 0$
 (Nernst's Theorem)

^a ΔQ : Wärmeänderung, ΔW : Energieänderung (mechanische Arbeit)

$$\left(p + \frac{a \cdot n^2}{V^2}\right)(V - b \cdot n) = n \cdot R \cdot T$$

$$p_{real} < p_{ideal}$$

$$V_{real} > V_{ideal}$$

^a $b = 4 \cdot N_A \cdot V_A$: Covolumen, a : Kohäsionsdruck

0.2 Volumenarbeit und pV-Diagramme

1. Arbeit: $W_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$

Kompression: $\Delta W > 0$

Expansion: $\Delta W < 0$

2. Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{|\Delta W|}{\Delta Q_W}$$

3. Zustandsänderungen:

Isobare: ($p = \text{const}$)^a

$$\Delta W_{12} = -p(V_2 - V_1) = -nR(T_2 - T_1)$$

$$\Delta Q_{12} = n \cdot c_p(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U_{12} = n \cdot (c_p - R)(T_2 - T_1)$$

Isotherme: ($T = \text{const}$)^b

$$\Delta U = \frac{f}{2} R \cdot \Delta T = 0$$

$$\Delta Q = -\Delta W$$

$$\Delta Q_{12} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{n \cdot R \cdot T}{V} dV = n \cdot R \cdot T \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Isochore: ($V = \text{const}$)^c

$$\Delta W = p dV = 0$$

$$\Delta Q_{12} = n \cdot c_V(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U_{12} = \Delta Q_{12} = \frac{f}{2} n \cdot R(T_2 - T_1)$$

$$c_V = \frac{f}{2} R = c_p - R$$

Adiabate: ($\Delta Q = 0$)^d

$$\Delta U_{12} = \Delta W_{12}$$

$$dU = \frac{f}{2} n \cdot R \cdot dT = n \cdot c_V \cdot dT$$

$$dW = -p \cdot dV = -n \cdot R \cdot T \frac{dV}{V}$$

$$c_V \frac{dT}{T} = -R \frac{dV}{V}$$

$$\rightarrow c_V \ln T = -R \ln V + \text{const}$$

$$\rightarrow \dots$$

$$\rightarrow p \cdot V^\gamma = \text{const}$$

Molwärme:

$$c_v = \frac{f}{2} R$$

$$c_p = \frac{f+2}{2} R$$

^a c_p : Molwärme bei konstantem Druck

^b f : Freiheitsgrade, üblicherweise 3

^c c_V : Molwärme bei konstantem Volumen

$$^d \gamma = \frac{c_p}{c_V}$$

0.3 Reale Gase und Flüssigkeiten

1. Van-der-Waals-Gleichung:^a

0.4 Entropie

1. Entropie:^a

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ_{rev}}{T}$$

$$S = k_B \cdot \ln \left(\frac{1}{W} \right)$$

$$\Delta S = -k_B \cdot \ln W(V_1) > 0$$

Reversibler Prozess:

$$\sum_i \frac{\Delta Q_i}{T_i} = \text{const} \Rightarrow \mathbf{p}, \mathbf{L}, E = \text{const}$$

Irreversibler Prozess:

$$\sum_i \frac{\Delta Q_i}{T_i} < 0$$

^a W = mechanische Arbeit, $W(V_1)$ = Wahrscheinlichkeit

1 Transportprozesse

1. Fluss:

$$\text{Energie: } J_E = \frac{dE}{dt}$$

$$\text{Masse: } J_m = \frac{dm}{dt}$$

$$\text{Ladung: } J_q = \frac{dq}{dt}$$

2. Flussdichte:

$$\text{Energie: } j_E = \frac{dE}{Adt}$$

$$\text{Masse: } j_m = \frac{dm}{Adt}$$

$$\text{Ladung: } j_q = \frac{dq}{Adt}$$

3. Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \mathbf{j}$$

$$1 \text{ Dim: } \frac{d\phi}{dt} + \frac{dj_x}{dx} = 0$$

$$3 \text{ Dim: } \frac{d\phi}{dt} + \nabla \mathbf{j} = 0$$

1.1 Wärmetransport mittels Wärmeleitung

1. Wärmefluss:^{a b}

$$J_Q = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

2. Fourier-Gesetz:

$$j_Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

^a λ : Wärmeleitungsfähigkeit

$$^b \frac{\Delta T}{\Delta x} = \text{const}$$

1.2 Diffusion

1. Teilchenstromdichte:^a

$$\mathbf{j} = \phi \cdot \mathbf{v}$$

2. Ficksches Gesetz:^{bcd}

$$\mathbf{j}_D = -D(T) \cdot \nabla n$$

^a ϕ : Dichte^b j : Nettofluss^c D : Diffusionskonstante^d n : Teilchendichte

2 Elektrizität und Magnetismus

Maxwell Gleichungen

1. Gaußsches Gesetz:

$$\nabla \mathbf{D} = \rho$$

2. Quellenfreiheit:

$$\nabla B = 0$$

3. Induktionsgesetz:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

4. Durchflutungsgesetz:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

2.1 Elektrostatik

1. Coulombsches Gesetz:

$$\mathbf{F}_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} \mathbf{e}_r$$

$$\mathbf{F}_C = -\nabla E_{\text{pot}}(\mathbf{r})$$

2. Elektrisches Feld:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \mathbf{e}_r$$

$$E_{\text{Linie}} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 R}$$

$$E_{\text{Fläche}} = \frac{Q}{2\epsilon_0 A}$$

$$E_{\text{Allg}} = \frac{Q}{\epsilon_0 A}$$

3. Elektrischer Fluss:

$$\Phi_E = \int_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A}$$

4. Gaußsches Gesetz:^{ab}

$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \mathbf{E} = \frac{\rho q}{\epsilon_0} = -\nabla \nabla \phi = -\nabla^2 \phi$$

5. Satz von Gauß:

$$\oint_A \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \int_V \nabla \mathbf{E} dV$$

6. Elektrisches Potential:

$$\phi(\mathbf{r}) = \frac{E_{\text{pot}}(\mathbf{r})}{q}$$

7. Elektrische Spannung:

$$U_{12} = \Delta\phi_{12} = -\int_1^2 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

8. Dipolmoment:

$$\mathbf{p} = q \cdot \mathbf{d}$$

9. Arbeit Dipol:

$$W = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$$

10. Kraft Dipol:

$$\mathbf{F} = q \cdot d \cdot \frac{d\mathbf{E}}{dr} = \mathbf{p} \cdot \nabla \mathbf{E}$$

11. Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$\text{Parallelschaltung: } C = \sum_i^N C_i, \quad U = U_i$$

$$\text{Reihenschaltung: } \frac{1}{C} = \sum_i^N \frac{1}{C_i}, \quad Q = Q_i$$

12. Arbeit Kondensator:

$$W = \int U \, dQ = \frac{1}{2} C U^2$$

Mit Dielektrikum:

$$W_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot C_0 U^2 = \frac{Q^2}{2 \cdot \epsilon_0 C_0}$$

13. Energie Kondensator:^c

$$E_C = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 V E^2$$

$$\text{Energiedichte: } w_e = \frac{E_C}{V} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

14. Permittivität:^d

$$C_{\text{Diel}} = \epsilon_r C_0$$

15. Feldstärke Dielektrikum:^e

$$E_{\text{Diel}} = \frac{\sigma_{\text{tot}}}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_r} E_0$$

$$\text{Ladungsdichte Dipol: } \sigma_p = \sigma_0 \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right)$$

$$\text{Totale Ladungsdichte: } \sigma_{\text{tot}} = \sigma_0 - \sigma_p$$

$$\text{Feldstärke Vakuum: } E_0 = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_0} \sigma_{\text{tot}}$$

16. Polarisation:^f

$$\mathbf{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n \mathbf{p}_i$$

$$P = \frac{Q_p \cdot d}{V} = \frac{\sigma_p \cdot A \cdot d}{V} = \sigma_p$$

17. Dielektrische Verschiebung:^{gh}

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \cdot \mathbf{E}_{\text{diel}} + \mathbf{P} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \mathbf{E}_{\text{diel}} = \epsilon_0 \cdot \mathbf{E}_0$$

18. Energiedichte:

$$\omega_e = \frac{1}{2} \epsilon_r \epsilon_0 \mathbf{E}^2 = \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D}$$

^afür geschlossene Oberflächen um eine Ladung^bZweitens in differentieller Form^c E_C : Energie, E : Elektrische Feldstärke^d C_0 : Kapazität im Vakuum, $\epsilon_r > 1$: Permittivitätszahl^e E_0 : Elektrische Feldstärke im Vakuum^f \mathbf{p}_i : Dipolmomente^gAuch elektrische Flussdichte^h \mathbf{D} ist gleich im Vakuum und in Materie, per Definition

2.2 Elektrische Gleichströme

1. Ohmsches Gesetz:

$$U = R \cdot I$$

2. Strom:

$$I = \frac{dQ}{dt} = \int_A \mathbf{j} \cdot d\mathbf{A}$$

3. Stromdichte:^a

$$\mathbf{j} = \frac{I}{A} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dQ}{dt}$$

$$\mathbf{j} = \rho \cdot \mathbf{v} = n \cdot q_e \cdot \mathbf{v}_D$$

$$j = \frac{U}{R \cdot A} = \frac{l \cdot E}{R \cdot A} = \sigma \cdot E$$

4. Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0$$

5. Spannung:

$$U = \phi_a - \phi_b = E \cdot \Delta l$$

6. Differentieller Widerstand:

$$r = \frac{dU}{dI}$$

7. Differentielle Leitfähigkeit:

$$s = \frac{dI}{dU}$$

8. Spezifische Leitfähigkeit:

$$\sigma = \frac{l}{R \cdot A}$$

9. Leitfähigkeit:

$$S = \sigma \cdot \frac{A}{l}$$

10. Widerstand:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

11. Elektrische Leistung:

$$P = I \cdot U$$

$$\text{Konstanter Widerstand: } P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

12. Leistungsverlust:^b

$$P_V = P - P_L$$

13. Kirchhoffsche Regeln:

$$\text{Knotenregel: } \sum I_K = 0$$

$$\text{Maschenregel: } \sum U_K = 0$$

14. Widerstand:

$$\text{Reihenschaltung: } R = \sum R_i$$

$$\text{Parallelschaltung: } \frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$$

^a $n = \frac{N}{V}$: Ladungsträger pro Volumen, \mathbf{v}_D : Driftgeschwindigkeit

^b P_L : Leistung, die wegen eines extra Widerstands R_L verloren geht

2.3 Magnetostatik**1. Magnetischer Fluss:**

$$\Phi_m = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

2. Magnetische Kraft:

$$\mathbf{F} = I(l \times \mathbf{B})$$

$$F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Parallele Leiter: } \frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

3. Lorentz-Kraft:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

4. Drehmoment:

$$\mathbf{M} = \mathbf{d} \times \mathbf{F} = \mathbf{d} \times I(l \times \mathbf{B}) = I(\mathbf{A} \times \mathbf{B})$$

$$\text{Dipol: } \mathbf{M} = \boldsymbol{\mu} \times \mathbf{B}$$

5. Magnetisches Moment:

$$\boldsymbol{\mu} = I \cdot \mathbf{A}$$

6. Hallspannung:^a

$$U_H = \frac{I \cdot B}{n \cdot q \cdot d} = \frac{R_H \cdot I \cdot B}{d}$$

7. Magnetisches Feld:^b

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r} (\hat{\mathbf{l}} \times \hat{\mathbf{r}})$$

^a R_H : Hallkonstante

^b μ_0 : Feldkonstante

**2.4 Grundgleichungen der Magneto-
statik****1. Magnetischer Fluss durch geschlossene Oberfläche:**

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

2. Quellenfreiheit:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

3. Satz von Gauß:

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{B} = \oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

4. Amperesche Durchflutungsgesetz:

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \sum_k I_k = \mu_0 I_{\text{Innen}}$$

5. Amp. Durchflutungsgesetz (differenziell):

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j}$$

6. Biot-Savart-Gesetz:

$$d\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\mathbf{j}(\mathbf{r}') \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} dV$$

$$d\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\mathbf{l} \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3}$$

2.5 Materie im Magnetfeld**1. Magnetisierung:^{a,b}**

$$\mathbf{M} = \frac{1}{V} \sum \boldsymbol{\mu}_i = \frac{I_m}{l} \hat{\mathbf{n}}$$

$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H} = \frac{\chi_m}{\chi_m + 1} \frac{\mathbf{B}}{\mu_0}$$

$$\mathbf{M} = \frac{1}{3} \frac{\mu \mathbf{B}_{\text{ext}}}{k_B T} \cdot M_s$$

2. Dipolmoment:^{c,d}

$$\boldsymbol{\mu}_i = I_i \cdot \mathbf{A} = I_m \frac{d\mathbf{l}}{l} \mathbf{A}$$

3. Gesamtmagnetstärke:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mu_0 \mathbf{M}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu \mathbf{H}$$

4. Magnetische Erregung:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{B} - \mathbf{M}$$

^a $\chi_m = \mu - 1$: magnetische Suszeptibilität

^b \mathbf{M}_s : Sättigungsmagnetisierung

^c I_i : kleiner Kreisstrom

^d I_m : Molekularstrom

2.6 Induktion und elektromagnetische Wechselfelder

1. Induzierte Spannung:

$$U_{\text{ind}} = -\dot{\Phi}_m(t)$$

$$U_{\text{ind}} = -L \cdot \dot{I}$$

2. Potentialdifferenz:

$$dU_{\text{ind}} = E_{\text{ind}} \cdot dl = v \cdot B \cdot dl$$

3. Induktivität:

$$L = \frac{\Phi_m}{I}$$

4. Ampere-Maxwell Gesetz:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \int \mathbf{j} \cdot d\mathbf{A} + \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \int \dot{\mathbf{E}} \cdot d\mathbf{A}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{j} + \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

2.7 Schaltvorgänge, Wechselstrom und Schwingkreis

1. Einschaltvorgang:

Induktivität:

$$U_0 - L \cdot \dot{I} = I \cdot R$$

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$$

Kapazität:

$$U_0 - RI = \frac{Q}{C}$$

$$-R\dot{I} = \frac{I}{C}$$

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$U(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

2. Ausschaltvorgang:

Induktivität:

$$I(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$U(t) = I(t) \cdot R = U_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

Kapazität:

$$I(t) = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

3. RLC-Stromkreis:

Leistung:

$$P(t) = U \cdot I = U_0 I_0 \cos^2 \omega t$$

$$\bar{P} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Stromstärke:

$$I = \frac{1}{L} \int_0^r U_0 \cos \omega t' dt' = \frac{U_0}{\omega L} \sin \omega t$$

Widerstand:

$$Z_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$Z_L = \omega L$$

Komplexe Beschreibung:

$$U(t) = \hat{U} e^{i\omega t}$$

$$I(t) = \hat{I} e^{i\omega t}$$

$$Z_C = \frac{1}{i\omega C}$$

$$Z_L = i\omega L$$

4. RLC-Schwingkreis:

Differentialgleichung:

$$\text{a. } 0 = L \cdot \ddot{I} + \dot{I} \cdot R + \frac{I}{C}$$

$$\text{b. } \omega \cdot U_0 \cdot e^{i(\omega t + \frac{\pi}{2})} = L \cdot \ddot{I} + \dot{I} \cdot R + \frac{I}{C}$$

Lösung^a ^b:

$$I_a(t) = C_1 \cdot e^{-\gamma t} \cdot e^{i\omega_R t} + C_2 \cdot e^{-\gamma t} \cdot e^{-i\omega_R t}$$

$$I_b(t) = \rho \cdot e^{i\varphi} \cdot e^{i\omega t}$$

$$\rho = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{\gamma \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

5. Transformator

Spannung:

$$U_i = -N_i \cdot \dot{\Phi}_M$$

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1$$

Leistung:

$$P = U_2 I_2 = U_1 I_1$$

6. Elektrische und magnetische Energie:

RC-Kreis:

$$P = C \cdot U \cdot \dot{U}$$

$$E_{RC} = \int_0^t P(t') dt' = \frac{CU(t)^2}{2}$$

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot V \cdot E^2 = \frac{\dot{D}E}{2}$$

LC-Kreis:

$$P = L \cdot I \cdot \dot{I}$$

$$E_{LC} = \frac{LI(t)^2}{2}$$

$$W_{\text{mag}} = \frac{1}{2} \mu \cdot \mu_0 \cdot V \cdot H^2 = \frac{BH}{2}$$

Elektromagnetische Energiedichte:

$$w_{\text{em}} = \frac{1}{2}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{H})$$

$${}^a\gamma = \frac{R}{L}: \text{Dämpfung}$$

$${}^b\omega_R = \sqrt{\omega_0^2 + \gamma^2}: \text{Eigenfrequenz}$$

2.8 warum hat die Zusammenfassung ihr ganzes Unterkapitel :/

2.9 Elektromagnetische Wellen

1. Ebene Welle:

$$y(\mathbf{x}, t) = A \sin(\mathbf{kx} \pm \omega t) + B \cos(\mathbf{kx} \pm \omega t)$$

2. Kugelwelle:

$$y(r, t) = \frac{A}{r} e^{i(kr \pm \omega t)}$$

3. Inverse Wellenlänge:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

4. Phasengeschwindigkeit:

$$v_{\text{Phase}} = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

5. Interferenz gleicher Amplitude:

$$\begin{aligned} \Psi(x, t) &= \Psi_1 + \Psi_2 \\ &= 2A \cdot \cos\left(\frac{k_1 + k_2}{2}x - \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \\ &\quad \cdot \cos\left(\frac{k_1 - k_2}{2}x - \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) \end{aligned}$$

6. Wellengleichung:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} - v^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = 0$$

7. Amplitudenfunktion:

$$A(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(x, 0) e^{i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x}} dx$$

8. Wellenfunktion:

$$\Psi(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A(k) e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega t)} dk$$

9. Geschwindigkeit:

$$\text{Phase: } v_{\text{phase}} = \frac{\omega}{k}$$

$$\text{Gruppe: } v_{\text{Gruppe}} = \frac{d\omega}{dk}$$

10. Elektromagnetische Wellengleichung:

$$\Delta \mathbf{E} = -\nabla \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

11. Verhältnis E zu B:

$$E = cB$$

12. Poynting Vektor:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{E} \times \mathbf{B})$$

$$S = \frac{\mu_0}{B_0 E_0} \cos^2(\omega t - kx)$$

frontes wird eine Kugelwelle erzeugt.

2. Gangunterschied:^{a b}

$$\text{Max: } \Delta x = d \sin \theta = m\lambda$$

$$\text{Min: } \Delta x = d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

3. Abstand auf Schirm:

$$x_m = \frac{\lambda L m}{d}$$

4. Phasenwinkel:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta = kd \sin \theta$$

5. Intensität:

$$I = I_0 \cdot E^2 \langle S \rangle$$

6. Fermatsche's Prinzip:

Licht nimmt den Weg so, dass die Zeit bis zum Ziel (lokal) minimiert wird.

7. Brechung:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

^a θ : Winkel zwischen Lichtstrahl und Schirm

^b m : Ordnungszahl

2.10 Wellenoptik

1. Huygensches Prinzip:

Aus jedem Punkt eines ebenen Wellen-