

Physik

Ingo Blechschmidt

21. Mai 2007

Inhaltsverzeichnis

I	Physik	3
1	Schulheft	4
1.1	Der Millikan-Versuch	4
1.2	Die FARADAYschen Gesetze	4
1.3	Batterie und Kondensator als Energiequellen	4
1.4	Integration und der Feldbegriff	5
1.4.1	Federkraftfeld	5
1.4.2	Kondensatorfeld	5
1.4.3	COULOMBfeld	6
1.5	Die ideale Batterie?	6
1.5.1	Innenwiderstand von Strommessgeräten	6
1.5.2	Innenwiderstand von Batterie	7
1.6	Das Linienintegral	8
1.7	Integrale über Linien und Flächen in der Elektrodynamik	8
1.8	Induktion in der Leiterschleife	10
1.9	Elektromotor und Generator	10
1.10	Die magnetische Flussdichte \mathcal{B} $\left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\right]$	11

1.11	Formelgegenüberstellung	11
1.12	Der freie Elektronenstrahl im homogenen Magnetfeld	11
1.12.1	Die Kraftwirkung des Magnetfelds	11
1.13	Energetische Ladung einer Spule	12
1.14	Der Hall-Effekt	12
1.14.1	Sinans Version der Berechnung der Hallspannung	13
1.15	Differentialgleichungen	13
1.15.1	Aufstellen und Auswerten von Differentialgleichungen in der Physik	13
1.15.2	Differentialgleichung für gedämpfte Schwingungen	15
1.16	Der Kondensator als Leiter? [Wechselstromwiderstand von Kondensator und Spule]	15
1.17	Energieübertragung an ein Lämpchen mit Wechselstrom [Effektivwerte]	16
1.18	Das Schweben eines Hubschraubers	16
1.19	[Impuls, Kapazität, Druck]	16
1.20	Stehende Welle in der Mechanik und der Elektrodynamik	17
1.20.1	Überlagerung zweier Wellenzüge	17
1.21	Polarisiertes Licht	17
1.22	Zugänge zum Brechungsgesetz	17
1.23	[Kohärenz] (Veranschaulichung lokaler Zustände eines lichtdurchfluteten Bereichs (Wellenfelds))	21
1.23.1	[Kohärenz im Metzler	21
1.23.2	[Bessere Definition	21
1.24	[Interferenz]	21
1.24.1	[Das Doppelspaltexperiment]	21
1.24.2	Zusammenstellung der Gleichungen zur Interferenz ($\Delta s = n\lambda \rightarrow n$ -tes Maximum bei zwei Strahlen)	23

1.24.3	Anwendung der Drehkristallmethode bei der Analyse von Röntgenstrahlung	24
1.25	Zwei Modelle für das Phänomen „Licht“	26
1.25.1	Strahlenmodell	26
1.25.2	Wellenmodell	26
1.26	Klassische Strahlenoptik zum Thema Abbildung . .	26
1.26.1	Am Anfang war das Loch	26
1.26.2	Die Dreilochblende mit zwei Prismen	27
1.26.3	Die optische Abbildung	27
1.27	Energie, Geschwindigkeit, Masse und Impuls in der relativistischen Theorie	29
1.28	[Streuprozesse]	29
1.28.1	Geometrie und Algebra im Dreieck	29
1.28.2	Anwendung der Dreiecksberechnungen in der Physik der Streuprozesse	30
1.29	[Fall von Licht	31
1.30	[Atomphysik]	31
1.30.1	Der gebundene Zustand	31
1.30.2	Leuchterscheinungen von Gasen	32
1.30.3	[Geschichtlicher Verlauf]	32
1.30.4	Das rote Neon-Leuchten beim Franck–Hertz-Versuch	32
1.31	Thermodynamik ↔ kinetische Gastheorie	33
1.31.1	Zur Einordnung: System „HOOKEsche Feder“	33
1.31.2	Das System „eingeschlossene Gasmenge“ . .	33

Teil I

Physik

1 Schulheft

1.1 Der Millikan-Versuch

(Siehe 6. und 7. Hausaufgabe.)

05.10.2005

1.2 Die FARADAYschen Gesetze

$$1. \quad m = \ddot{A}Q; \quad \ddot{A} = \frac{m}{Q};$$

Die geflossene Ladung ist proportional zur abgeschiedenen Masse. (Typische Proportionalitätskonstante \ddot{A} für jeden Stoff.)

$$2. \quad Q = nzF; \quad (z: \text{Wertigkeit des Stoffes}, F = 9,6485 \cdot 10^7 \frac{\text{C}}{\text{kmol}})$$

$$zF = \frac{Q}{n}; \Leftrightarrow \frac{1}{zF} = \frac{n}{Q};$$

$$e \cdot N_A = F; \quad (\text{siehe auch Formelsammlung S. 80})$$

19.10.2005

1.3 Batterie und Kondensator als Energiequellen

Batterie

[Q - U -Diagramm (Rechteck)]

U bleibt während des Prozesses konstant.

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}};$$

$$\Delta E = \bar{U} I \Delta t = U \Delta Q;$$

Kondensator

[Q - U -Diagramm (Dreieck (fallende Gerade))]

U nimmt linear bezüglich Q ab.

$$\Delta E = \bar{U} \Delta Q = \frac{1}{2} U_{\text{max}} \Delta Q;$$

$$(\Delta E = \bar{F} \Delta s;)$$

24.10.2005

„Wer weiß, ob der Herr Gräupner in der Kollegstufe zu einem Drachen mutiert“

08.11.2005

1.4 Integration und der Feldbegriff

1.4.1 Federkraftfeld

$$\Delta E(x) = \int_0^x F(\tilde{x}) d\tilde{x} = \int_0^x D\tilde{x} d\tilde{x} = \left[\frac{1}{2}D\tilde{x}^2\right]_0^x = \frac{1}{2}Dx^2;$$

„Federpotenzial“

„mit Blick aufs Betriebssystem“

[„GIBBSche Fundemantalform“:

- E [J]
- Q [As]; U [V]; I [A]
- P [Ns]; U [v]; F [N]
- S [$\frac{J}{K}$]; T [K]
- n [mol]; μ

Energie fließt nie allein, es muss immer auch mind. eins von Q , P , S oder n mitfließen.

Nur bei mengenartigen Größen kann man Sachen hineinstecken oder herausholen.

Q nach U integriert gibt E , P nach v integriert gibt E , etc.]

09.11.2005

1.4.2 Kondensatorfeld

a) Bei fester Spannung mit festem Plattenabstand ist die Kraft auf eine Probeladung überall zwischen 0 und d konstant.

$$D_x = [0, d];$$

b)
$$\Delta E(x) = \int_0^x F d\tilde{x} = [F\tilde{x}]_0^x = Fx = q\mathcal{E}x;$$

„ $[\tilde{x}$ statt x'] erinnert mich an die Vertreibung aus'm Paradies“

Elektrisches Potenzial gegenüber der „linken Platte“:

$$\varphi(x) = \frac{\Delta E(x)}{q} = \mathcal{E}x;$$

1.4.3 COULOMBfeld

$$\mathbf{a)} \quad F(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2};$$

$$D_r =]0, \infty[;$$

[Abstände (wie z.B. r) sind immer positiv!]

$$\mathbf{b)} \quad \Delta E(r) = \int_r^\infty F(\tilde{r}) \, d\tilde{r} = \left[-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{\tilde{r}} \right]_r^\infty = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r};$$

$$\varphi(r) = \frac{\Delta E(r)}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r};$$

[Konservative Kraft-/Energiefelder – total reversibel]

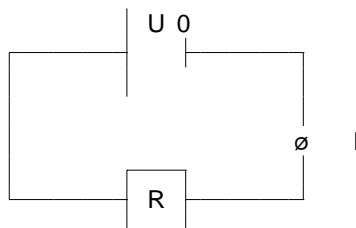
05.12.2005

1.5 Die ideale Batterie?

[Referat von Gawro und mir (gehalten am 6.12.2005); das hier war die Vorlage des Tafelanschiebs, es gab dann kleinere Änderungen; 13 Punkte für Gawro und 14 für mich :)]

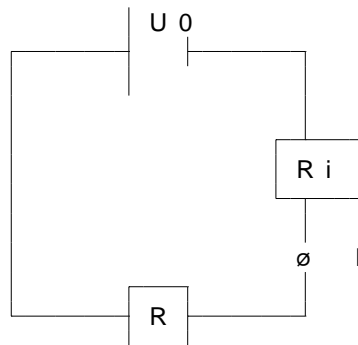
1.5.1 Innenwiderstand von Strommessgeräten

Bisher immer angenommen:



$$I = I_0 = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_0}{R};$$

Aber: Messgerät ist nicht ideal; Innenwiderstand!

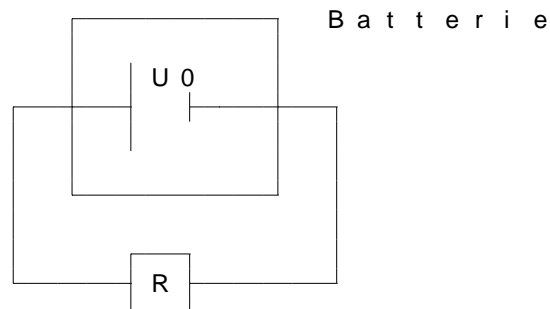


$$I = I_0 = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_0}{R + R_i} = \frac{U_0}{R \left(1 + \frac{R_i}{R}\right)};$$

Also: Bei Strommessung Wunsch nach geringem Innenwiderstand

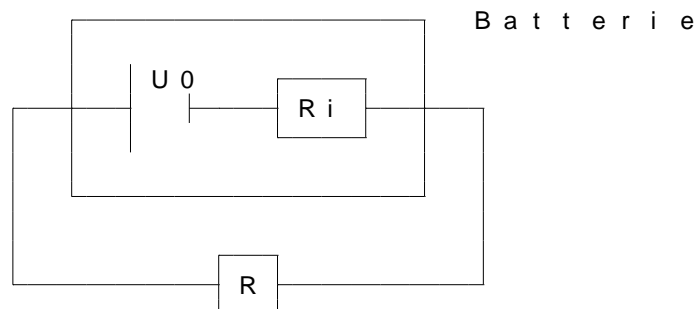
1.5.2 Innenwiderstand von Batterie

Bisher immer angenommen:



Aber: Batterie ist nicht ideal; Innenwiderstand!

(Konsequenzen bei Kurzschließung einer idealen Batterie: unendlich großer Strom! Unendlich große Energie!)



Allgemein

$$U_0 = U + U_i = U + R_i I;$$

Für Versuch 1

$$U_0 = U_{V1} + U_{i,V1} = U_{V1} + R_{i,V1} I_{V1};$$

Für Versuch 2

$$U_0 = U_{V2} + U_{i,V2} = U_{V2} + R_{i,V2} I_{V2};$$

$$\Rightarrow R_i = \frac{U_{V2} - U_{V1}}{I_{V1} - I_{V2}};$$

Sehr interessant: Bei welchem R ist die Leistung maximal?

Bei idealer Batterie

$$P(R) = UI(R) = \frac{U^2}{R} = U^2 \frac{1}{R}; \rightarrow$$

Also maximale Leistung für $R \rightarrow 0 \Omega$ (Unendlichkeitsstelle des Graphen von $P(R)$)

Bei Batterie mit Innenwiderstando

$$P(R) = U(R)I(R) = (U_0 - U_i(R))I(R) = (U_0 - R_i I(R)) \frac{U_0}{R+R_i} = \frac{U_0^2}{R+R_i} - R_i \frac{U_0^2}{(R+R_i)^2};$$

Diskussion des $P(R)$ -Graphen mit Hilfe von $P'(R)$ liefert: maximale Leistung bei $R = R_i$

19.12.2005

1.6 Das Linienintegral

$$\oint \vec{B} \, d\vec{s} = \mu_0 \text{ „}I_{\text{innen}}\text{“}; \text{ (geschlossenes Linienintegral)}$$

$$\oiint \varepsilon_0 \vec{E} \, d\vec{A} = \text{ „}Q_{\text{innen}}\text{“};$$

20.12.2005

1.7 Integrale über Linien und Flächen in der Elektrodynamik

$$\oiint \varepsilon_0 \vec{E} \, d\vec{A} = Q;$$

Spezialfall Kugeloberfläche mit einer Punktladung in der Mitte:

$\mathcal{E}(r)$ auf der Hülle mit konstantem Radius r

$$\Rightarrow \varepsilon_0 \mathcal{E}(r) \cdot 4\pi r^2 = Q;$$

$$\Rightarrow \mathcal{E}(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2}; \text{ (COULOMBfeld; Kugelsymmetrie)}$$

21.12.2005

$$\oint \frac{\vec{B}}{\mu_0} d\vec{s} = I; [\text{A}]$$

[Konzentrischer] Kreis mit [Radius] r :

$$\Rightarrow \frac{B(r)}{\mu_0} \cdot 2\pi r = I;$$

$$\Rightarrow B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}; \text{ (Zylindersymmetrie)}$$

20.12.2005

$$\oiint \vec{B} d\vec{A} = 0 \text{ Vs};$$

$$\int_{P_1}^{P_2} \vec{E} d\vec{s} = \Delta\varphi = U_{1,2}; \rightarrow \text{„ Skalarfeld } \varphi(r)\text{“}$$

$$\oint \vec{E} d\vec{s} = 0 \text{ V, falls } \vec{E}(\vec{r}) \text{ ein wirbelfreies Feld ist.}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 I, \text{ da } \vec{B}(\vec{r}) \text{ ein Wirbelfeld ist.}$$

$$\oint \vec{E} d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint \vec{B}(\vec{r}, t) d\vec{A};$$

Die MAXWELLSchen Gleichungen:

$$1. \oiint \varepsilon_0 \vec{E} d\vec{A} = Q; [\text{As}] (= \iiint \varrho(\vec{r}) dV)$$

$$2. \oiint \vec{B} d\vec{A} = 0 \text{ Vs}; [\text{Vs}]$$

$$3. \oint \vec{E} d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint \vec{B}(\vec{r}, t) d\vec{A}; [\text{V}]$$

$$4. \oint \frac{\vec{B}}{\mu_0} d\vec{s} = I; [\text{A}]$$

24.01.2006

1.8 Induktion in der Leiterschleife

$$U_{\text{ind}} = -1 \cdot \dot{\phi}(t); \leftarrow \text{„hihihi“, „lol“}$$

Drei Zustände einer leiterumgebenden Fläche:

1. Magnetischer Fluss von 0 Vs
2. (50 ms später) Magnetischer Fluss von 10 Vs
3. (50 ms später) Magnetischer Fluss von 0 Vs

$$\bullet U_{1,2} = 1 \cdot \frac{\Delta\phi_{1,2}}{\Delta t} = \frac{10 \text{ Vs}}{50 \text{ ms}};$$

$$\bullet U_{2,3} = 1 \cdot \frac{\Delta\phi_{2,3}}{\Delta t} = \frac{-10 \text{ Vs}}{50 \text{ ms}};$$

27.04.2006

1.9 Elektromotor und Generator

Elektromotor

- Permanentmagnete
- Anker (Eisenkern, Spule(n))
- Schleifkontakte
- Kommutator

$$\eta = \frac{P_{\text{rat}}}{P_{\text{ret}}} = \frac{U_i I}{U_0 I} = \frac{U_i}{U_0} = \frac{U_0 - U_R}{U_0} = 1 - \frac{U_R}{U_0};$$

Generator (B. S. 260)

$$U_i = N \dot{\phi} = N(\dot{A}B) = nB\dot{A} = nB(\hat{\cos \omega t}) = nB\hat{A}\omega \cdot \sin \omega t;$$

$$P = \frac{U^2}{R};$$

23.11.2005

1.10 Die magnetische Flussdichte \mathcal{B} $\left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\right]$

Rückblick: Radialsymmetrisches Feld einer Punktladung mit 3 As

$$\underbrace{\varepsilon_0 \mathcal{E}}_{\left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2}\right]} \cdot \underbrace{A}_{[\text{m}^2]} = \underbrace{Q}_{[\text{As}]}$$

$$\varepsilon_0 \mathcal{E} = \frac{Q}{4\pi r^2}; \left(\left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2}\right]; \text{elektrische Flussdichte}\right)$$

$$\text{Kondensator: } Q = CU = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \cdot \mathcal{E}d = \underbrace{\varepsilon_0 \mathcal{E}}_{\left[\frac{\text{As}}{\text{m}^2}\right]} \cdot \underbrace{A}_{[\text{m}^2]}$$

Magnetismus: \mathcal{B} $\left(\left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}\right]\right)$

30.11.2005

1.11 Formelgegenüberstellung

Schnurstrom	Magnetismus
$F = m\dot{v}$; (2. NEWTONsches Gesetz)	$U_1 = L\dot{I}$; (Definition der Induktivität)
$\overline{F} = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$;	$\overline{U}_1 = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$;
$\overline{F} \Delta t = \underbrace{m \Delta v}_{[\text{Ns}]}$;	$\overline{U} \Delta t = \underbrace{L \Delta I}_{[\text{Vs}]} = N \Delta \phi_1$;
$\int F(t) dt = \underbrace{\Delta p}_{[\text{Ns}]}$;	$\int U_N(t) dt = N \Delta \phi_1 = N \Delta \mathcal{B} A$;
$E = \frac{1}{2} \underbrace{m}_{\varrho V} v^2$;	$E = \frac{1}{2} \underbrace{L}_{\mu_0 \left(\frac{N}{l}\right)^2 V} I^2$; (l : Länge der Spule, $V = Al$: Volumen des felddurchsetzten Raums in der Spule, $\left(\frac{N}{l}\right)$: Windungsdichte)

07.12.2005

1.12 Der freie Elektronenstrahl im homogenen Magnetfeld

1.12.1 Die Kraftwirkung des Magnetfelds

$F = BIl$; (Kraft auf ein kurzes Leiterstück)

$$F_Q = B \frac{Q}{\Delta t} l;$$

$$F_Q = \mathcal{B} Q v;$$

Lorentzkraft: $F_e = \mathcal{B} e v$;

13.12.2005

1.13 Energetische Ladung einer Spule

[Referat von Sinan und Jodo]

[Siehe 35. Hausaufgabe]

12.01.2006

1.14 Der Hall-Effekt

[Wichtig: Kleine Verschiebung der Lötstellen bei der Messung der Hallspannung resultiert in geringfügig anderer Spannung; diese kann aber „weggeeeicht“ werden.]

Letzte Stunde: $F_{el} = \mathcal{B}ev_D = \mathcal{E}e = \frac{U_H}{d}e; \Rightarrow U_H = \mathcal{B}dv_D;$

Wegen Metzler und Formelsammlung werden wir b in d umbenennen, also $U_H = \mathcal{B}bv_D; \left[\frac{Vs}{m^2} m \frac{m}{s} \right]$

[Damit ist d die Dicke des Plättchens nach hinten, b die Höhe und l die Breite (von links nach rechts)]

Einschub: Volumenströme

$$v_{\text{Wasser}} = 5 \frac{\text{cm}}{\text{s}};$$

$$I_{\text{Wasser}} = A \cdot v_{\text{Wasser}} = A \frac{dx}{dt} = \frac{dV}{dt}; \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$\text{(Allgemein gilt: } I_{\text{Volumen}} = A \cdot v_{\perp}; \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right])$$

$$I_Q = \frac{dQ}{dt} = \underbrace{e}_{\substack{[\text{As}] \\ \text{Ladung der} \\ \text{strömungs-} \\ \text{fähigen Teil-} \\ \text{chen, hier:} \\ \text{Ladung der} \\ \text{Elektronen}}} \underbrace{n}_{\substack{[\frac{1}{\text{m}^3}] \\ \text{Teilchendichte} \\ \text{der strömungs-} \\ \text{fähigen La-} \\ \text{dungen, hier:} \\ \text{Elektronen}}} \underbrace{A v_D}_{\substack{[\text{m}^2] [\frac{\text{m}}{\text{s}}] \\ \text{Volumenstrom}}};$$

$\rightarrow v_D$ eliminierbar

$$\Rightarrow v_D = \frac{1}{en} \underbrace{\frac{I}{A}}_{bd};$$

$$U_H = \mathcal{B}b \frac{1}{en} \frac{I}{bd} = \frac{1}{en} \frac{I\mathcal{B}}{d} \equiv \underbrace{R_H}_{\left[\frac{\text{m}^3}{\text{C}} \right]} \underbrace{\frac{\mathcal{B}I}{d}}_{\left[\frac{\text{VsC}}{\text{m}^2 \text{ms}} \right]};$$

13.01.2006

[n ist für die Herstellung von Hallsonden sehr wichtig, da $U_H \sim \frac{1}{n}$. Je kleiner n ist – also je weniger strömungsfähige Teilchen pro Volumen vorkommen – desto größer wird U .

Deswegen sind Hallsonden mit Kupferleitern prinzipiell nicht möglich; Bei p-dotierten Halbleitern ist U_H um sechs (!) Größenordnungen größer.]

13.01.2006

1.14.1 Sinans Version der Berechnung der Hallspannung

$$F_L = F_{el}; \Rightarrow \mathcal{B}ev = \mathcal{E}e = \frac{U}{d}e;$$

$$\Rightarrow U = \mathcal{B}vd;$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \underbrace{en}_{=eQ \left[\frac{As}{m^3} \right]} Av; \Rightarrow v = \frac{1}{en} \underbrace{\frac{I}{A}}_{=bd};$$

$$\Rightarrow U = \mathcal{B}d \frac{1}{en} \frac{I}{bd} = \frac{1}{en} \frac{\mathcal{B}I}{d};$$

28.01.2006

1.15 Differentialgleichungen

Gleichung, deren Lösungsmenge aus Zahlen besteht \neq Gleichung, deren Lösungsmenge aus Funktionen besteht

1. Bekannt:

$$7x^3 - 15x^2 + 2x - 9 = 0;$$

$$D = \mathbb{R}; \quad L = \text{irgendeine Teilmenge aus } \mathbb{R};$$

2. Neu:

$$5f'''(x) - \frac{1}{(f'(x))^2} + \sqrt{f(x)} + \frac{1}{\lg f'(x)} = 0;$$

$$D = \text{Menge von Funktionen, die mindestens dreimal ableitbar sind und deren Funktionswerte größer als 0 sind};$$

06.02.2006

1.15.1 Aufstellen und Auswerten von Differentialgleichungen in der Physik

Relaxationssystem

Kondensator

[Stromkreis: Kondensator C ($Q = CU$), verbunden mit Widerstand R ($U = R\dot{Q}$)]

Uns interessiert $U(t)$ bzw. $I(t)$.

Maschenregel: $U_1(t) + U_2(t) = 0$;

$$\frac{Q(t)}{C} + R\dot{Q}(t) = 0;$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}; \text{ („intelligent geraten“)}$$

$$\dot{Q}(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \left(-\frac{1}{\tau}\right);$$

$$\frac{1}{C}Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{R}{\tau}Q_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = 0;$$

$$\tau = RC; \left[1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \frac{\text{As}}{\text{V}} = 1 \text{ s}\right]$$

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}};$$

$$I(t) = - \underbrace{\frac{Q_0}{RC}}_{I_0} e^{-\frac{t}{RC}};$$

Spule

[Stromkreis: Spule L ($U = L\dot{I}$), verbunden mit Widerstand R ($U = RI$)]

Uns interessiert $U(t)$ bzw. $I(t)$.

Maschenregel: $U_1(t) + U_2(t) = 0$;

$$L\dot{I}(t) + RI(t) = 0;$$

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}};$$

$$\dot{I}(t) = -\frac{I_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}};$$

$$-\frac{I_0}{\tau}L + RI_0 = 0;$$

$$\tau = \frac{L}{R};$$

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{R}{L}t};$$

Der ungedämpfte Schwingkreis

[Stromkreis: Kondensator C ($Q = CU$), verbunden mit Spule L ($U = L\dot{I} = L\ddot{Q}$; [Ersetzung von \dot{I} mit \ddot{Q}] damit nur eine Funktion gesucht ist)]

$$U_C(t) + U_L(t) = 0;$$

$$\frac{Q(t)}{C} + L\ddot{Q}(t) = 0;$$

$$Q(t) = Q_0 \sin \omega t;$$

$$\ddot{Q}(t) = -\omega^2 Q_0 \sin \omega t;$$

$$\frac{Q_0}{C} - L\omega^2 Q_0 = 0;$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}; \left[1 \frac{1}{\frac{\text{Vs}}{\text{A}} \frac{\text{As}}{\text{V}}} = 1 \frac{1}{\text{s}} \right]$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{LC};$$

13.02.2006

1.15.2 Differentialgleichung für gedämpfte Schwingungen

$$\ddot{x}(t) + 2\gamma\dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = f_0 \cos \omega t;$$

Die allgemeine Lösung ist:

$$x(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \cdot e^{-\gamma t} + A_2 \cos(\omega t + \varphi);$$

Nach dem Einschwingvorgang bleibt nur der zweite Term:

$$x(t) = A_2 \cos(\omega t + \varphi);$$

In die Differentialgleichung eingesetzt ergibt sich für die Phase zwischen Anregungssignal und Antwort des Oszillators:

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

Und für die Amplitude:

$$A_2 = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\gamma\omega)^2}};$$

Die Breite der Resonanz ist:

$$\Delta\omega = 2\sqrt{3} \cdot \gamma;$$

02.02.2006

1.16 Der Kondensator als Leiter? [Wechselstromwiderstand von Kondensator und Spule]

[Der Kondensator leitet Wechselstrom; der Kondensator wird ständig auf- und entladen. Mit höherer Wechselstromfrequenz nimmt die Leitfähigkeit zu. Der Kondensator ist ein Widerstand, an dem **keine** (!) Energie dissipiert wird.]

$$R_C(\omega) = \frac{1}{\omega C}; \left[\frac{1 \text{ V}}{\frac{1}{\text{s}} \text{ C}} = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega \right]$$

entsprechend

$$R_L(\omega) = \omega L; \left[\frac{1}{\text{s}} \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega \right]$$

02.02.2006

1.17 Energieübertragung an ein Lämpchen mit Wechselstrom [Effektivwerte]

$$\Delta E_T = \int_{0s}^T U(t)I(t) dt \stackrel{\text{z.B.}}{=} U_{\max}I_{\max} \underbrace{\int_{0s}^T \sin^2 \omega t dt}_{\frac{T}{2}} = \underbrace{U_{\max}I_{\max}T}_{\text{bekannt als „UIT“}} \cdot \frac{1}{2} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} T \stackrel{!}{=} U_{\text{eff}}I_{\text{eff}}T;$$

$$U_{\text{eff}}I_{\text{eff}}T;$$

03.04.2006

$$P_{\text{eff}} = U_{\text{eff}}I_{\text{eff}} \cos \varphi;$$

[cos φ ist bei] OHMschen [Widerständen] 1, [bei] induktiven 0.

[Formel gilt nur für] $\Delta t \gg T$

09.03.2006

1.18 Das Schweben eines Hubschraubers

[Referat von Patrick Hermann (gehalten am 9.3.2006).]

[...]

25.04.2006

1.19 [Impuls, Kapazität, Druck]

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

$$Q = CU;$$

$$U \left[\frac{\text{J}}{\text{C}} \right]$$

$$I_Q = \frac{\Delta Q}{\Delta t}; \left[\frac{\text{As}}{\text{s}} \right]$$

- $\vec{P} = m\vec{v};$ [Masse als „Impulskapazität“]

$$\vec{v} \left[\frac{\text{J}}{\text{Ns}} \right]$$

$$m = \frac{\vec{p}}{\vec{v}}; [m \text{ ist also kein Skalar, sondern ein Tensor!}]$$

$$I_p = \frac{\Delta p}{\Delta t} = F; \left[\frac{\text{Ns}}{\text{s}} \right]$$

- Druck = $\frac{\text{Impulsstrom}}{\text{Fläche}};$

- Impulstensor:

$$\left(\begin{array}{ccc} x \text{ in } x\text{-Richtung} & y \text{ in } x\text{-Richtung} & \cdot \\ \cdot & y \text{ in } y\text{-Richtung} & \cdot \\ \cdot & \cdot & z \text{ in } z\text{-Richtung} \end{array} \right)$$

- $\vec{\mathcal{E}} \times \vec{\mathcal{B}} \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right]$

16.03.2006

1.20 Stehende Welle in der Mechanik und der Elektrodynamik

Grundschwingung: $l = \frac{\lambda}{2}$;

$$[l = \frac{\lambda}{2} = \frac{cT}{2} = \frac{1}{2} \frac{c}{f}; \Leftrightarrow f = \frac{1}{2} \frac{c}{l} \approx 1,9 \text{ GHz};]$$

21.03.2006

1.20.1 Überlagerung zweier Wellenzüge

$$y_{\text{ges.}}(x, t) = y_{\text{Eingang}}(x, t) + y_{\text{Reflektion}}(x, t) = y_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \omega t\right) + y_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \omega t\right) = y_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right) + y_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \frac{2\pi}{T}t\right);$$

Jahrgangsstufe 9:

- $y(x, t) = (x - vt)^2$;
- $y(x, t) = x^2 + vt$;
- $y(x, t) = \sqrt{x - vt}$;

29.03.2006

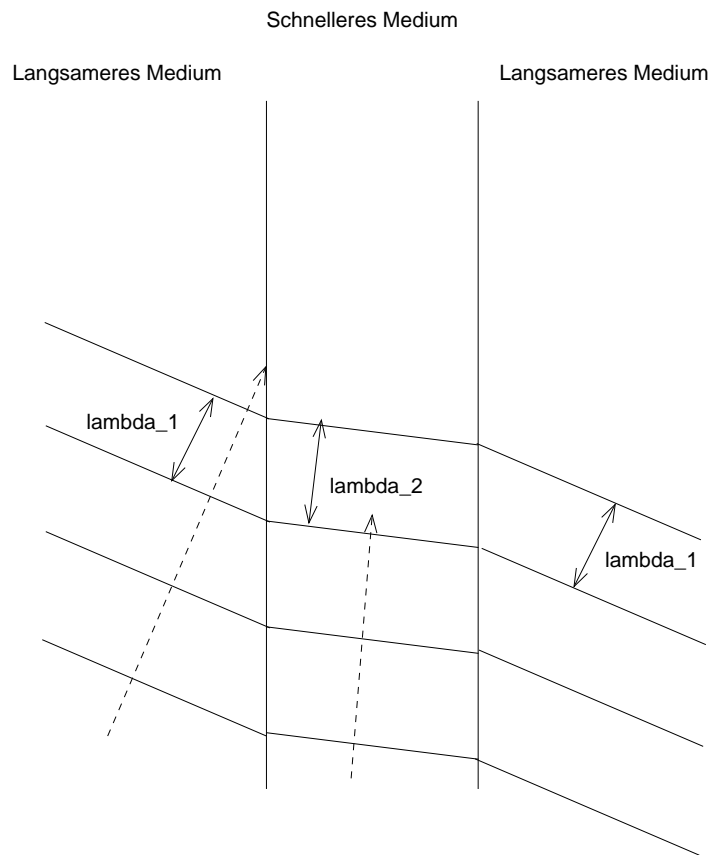
1.21 Polarisiertes Licht

- „Polarisation“ als Attribut einer Welle
Ausbreitungsrichtung (Vektor) \neq
Richtung des oszillierenden Signals; Amplitude und Richtung
→ Vektor des Signals

04.04.2006

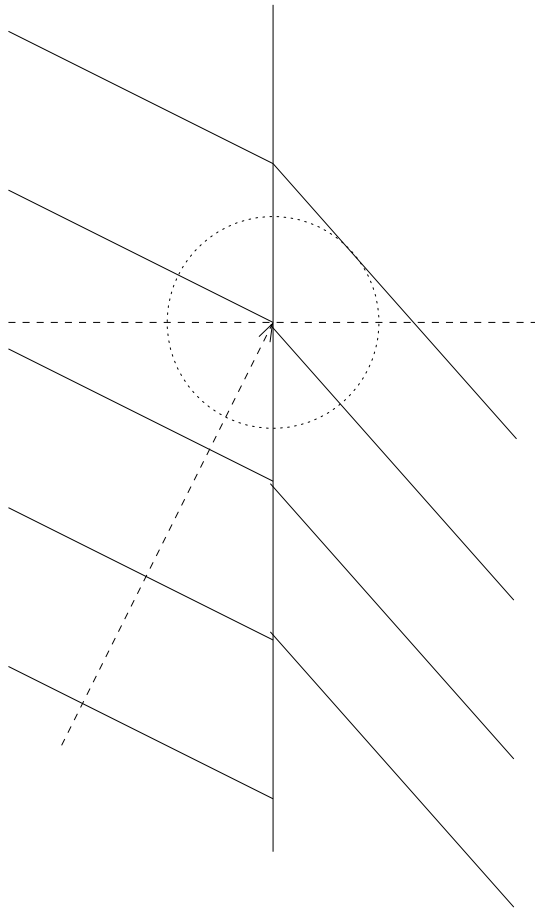
1.22 Zugänge zum Brechungsgesetz

- [„**Teilchenmärchen**“
Gesucht ist nicht der räumlich kürzeste, sondern der zeitlich schnellste Weg fürs Photon von A nach B .
Problem dabei: Das Photon müsste über übernatürliche Kräfte verfügen, um immer den kürzesten Weg finden zu können.



- **Licht als Welle**

Betrachtet man dagegen Licht als Welle – delokalisiert – stellen sich diese Probleme nicht:]



$$\lambda_1 = 3LE;$$

$$c = \lambda f; \quad f_1 = f_{1,5};$$

$$\Rightarrow \frac{c_1}{\lambda_1} = \frac{c_{1,5}}{\lambda_{1,5}};$$

$$\Rightarrow \lambda_{1,5} = \frac{c_{1,5}}{c_1} \cdot \lambda_1 = 2LE;$$

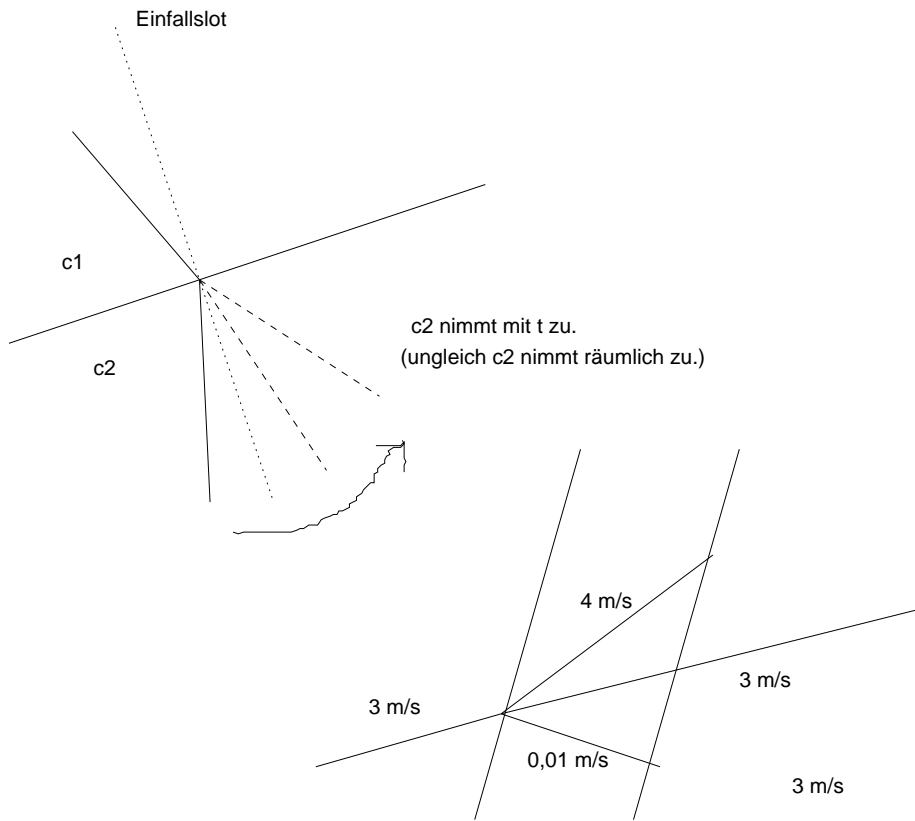
$$c_1 = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$c_{1,5} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

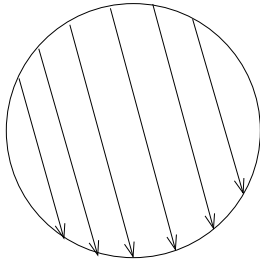
05.04.2006

[Da $f_1 = f_2$ und $c_1 \neq c_2$ und $c = \lambda f$, muss sich λ beim Übertritt ändern.

„Die Physik muss vor und nach der Brechung die gleiche sein – $f_1 = f_2$.“



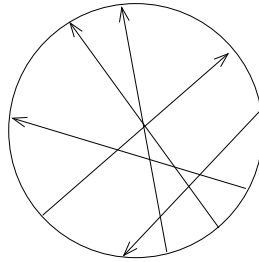
1.23 [Kohärenz] (Veranschaulichung lokaler Zustände eines lichtdurchfluteten Bereichs (Wellenfelds))



Eine einzige Farbe, eine einzige Richtung der "Lichtstrahlen" (Wellennormalen).

Das Licht ist zeitlich und räumlich kohärent.

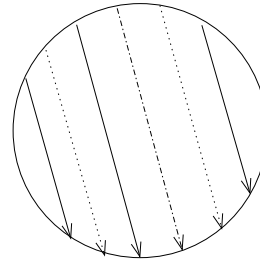
w konst.
 k konst.



Eine einzige Farbe, alle [viele] Richtungen.

Das Licht ist zeitlich kohärent.

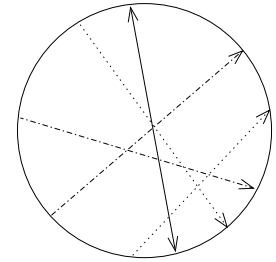
w konst.



Eine einzige Richtung, alle Farben.

Das Licht ist räumlich kohärent.

k [Vektor] / k konst.



Alle Richtungen, alle Farben.

Zeitlich und räumlich inkohärent.

03.05.2006

1.23.1 [Kohärenz im Metzler]

Kohärenz ist eine Eigenschaft von Quellen. Quellen sind kohärent, wenn sie Wellen fester Frequenz und fester Phasenbeziehung $\Delta\varphi$ ausstrahlt.

Unveränderliche Interferenzmuster (oder auch kurz nur „Interferenzmuster“) entstehen nur bei der Überlagerung von Wellen kohärenter Quellen.]

1.23.2 [Bessere Definition]

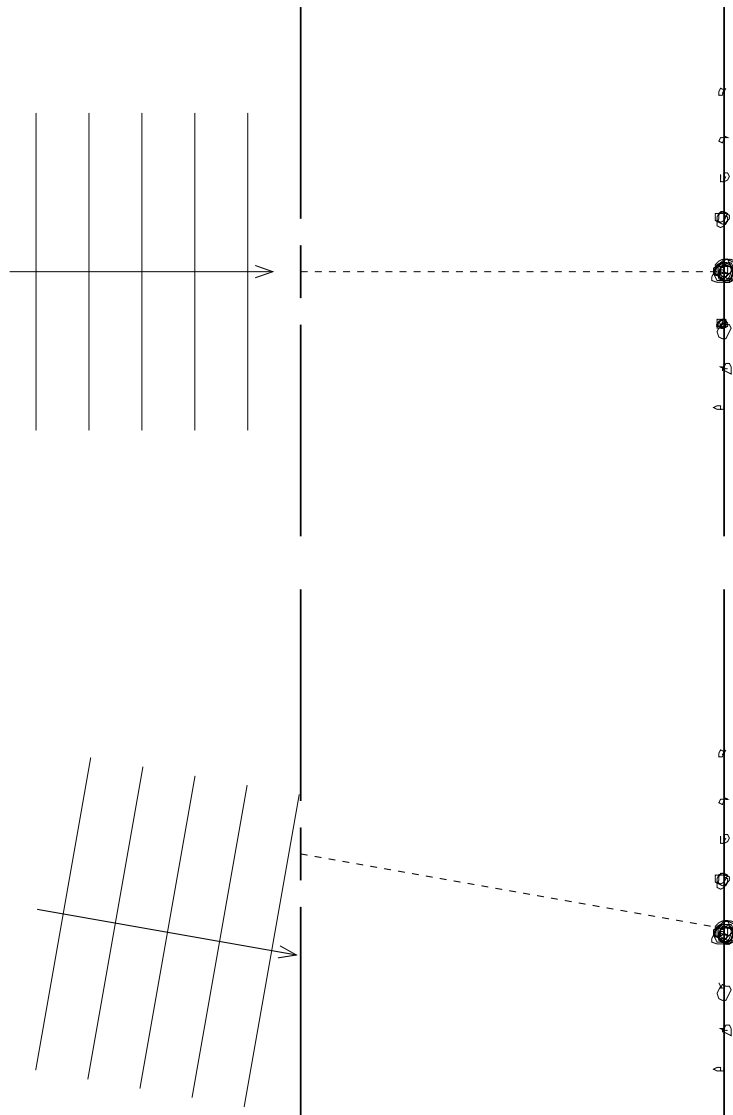
Kohärenz ist eine Eigenschaft von (infinitesimalen) Raumbereichen, ähnlich wie Steigung eine Eigenschaft von infinitesimalen Punktbereichen ist.]

03.05.2006

1.24 [Interferenz]

1.24.1 [Das Doppelspaltexperiment]

Anmerkung zu B. S. 133/1



Das Interferenzmuster wandert, ändert sich [aber] qualitativ nicht [nur zieht sich das Muster als Folge des veränderten gedachten „Spaltabstands“ leicht auseinander]. Zum Wundern:

[Mehr als nur zwei „Flecke“ und nochwas XXX]

06.05.2006

Interferenzexperiment zur Wellenlängenbestimmung

[Siehe 83. Hausaufgabe.]

09.05.2006

Ermittlung der Wellenlängen eines Lasers durch Ausmessen des Interferenzmusters

[e : Abstand Laser-Wand, d : Spaltabstand; XXX]

$$\lambda = \frac{dI}{ne} = d \frac{a}{e} n^{-1} = \frac{dI}{e} \text{ für } n = 1;$$

$$\lambda = d \sin \alpha; \text{ (Maximumbedingung)}$$

$$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{e};$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{e};$$

30.05.2006

1.24.2 Zusammenstellung der Gleichungen zur Interferenz ($\Delta s = n\lambda \rightarrow n$ -tes Maximum bei zwei Strahlen)

[In allen Fällen gibt es keine energetische Wechselwirkung, sondern ausschließlich Impulsaustausch.]

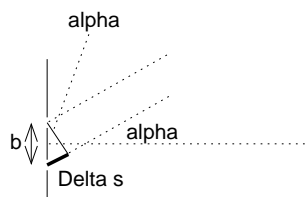
Doppelspalt

$$b \cdot \sin \alpha = n\lambda; \rightarrow \text{Maximum } n\text{-ter Ordnung}$$

b : Spaltabstand

Wegen $\sin \alpha \leq 1$ gilt: $n \leq \frac{b}{\lambda}$;

Z.B.: $\frac{4 \mu\text{m}}{630 \text{ nm}} \approx 6,35$; \rightarrow maximal sechs Maxima nach einer Seite, d.h. 13 Maxima [insgesamt]

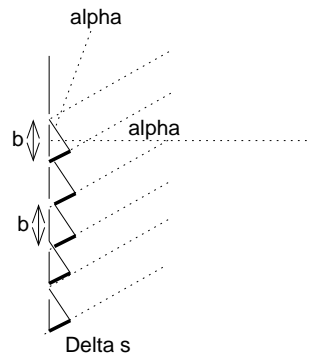


Gitter

$$b \cdot \sin \alpha = n\lambda; \text{ (wie beim Doppelspalt)}$$

b : „Gitterkonstante“

Maxima sind beim Gitter stärker ausgeprägt als beim Doppelspalt.



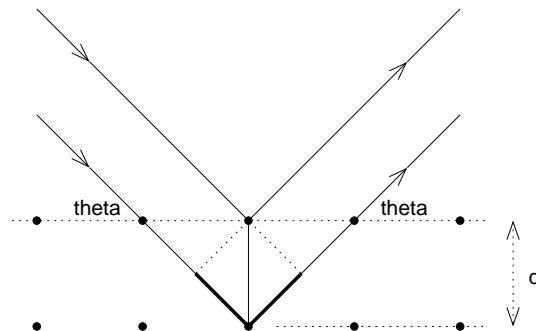
Röntgeninterferenz am dreidimensionalen Gitter

Strahl„ablenkung“: 2ϑ

$$2d \cdot \sin \vartheta = n\lambda;$$

d : Netzebenenabstand $\approx 10^{-10}$ m

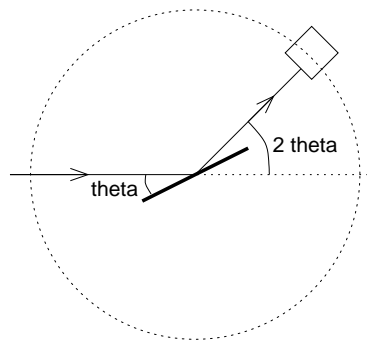
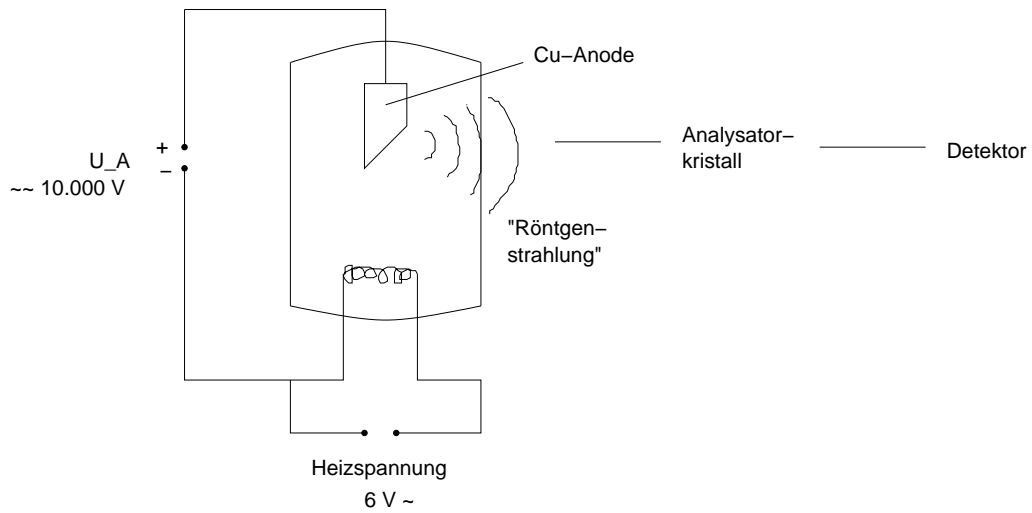
BRAGGreflexe nur unter bestimmten ϑ - ϑ -Winkeln!



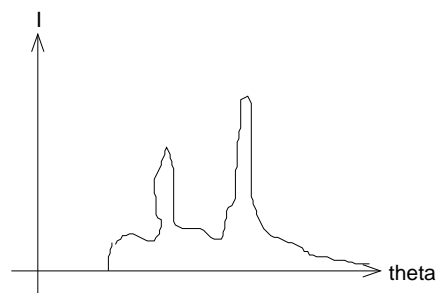
01.06.2006

1.24.3 Anwendung der Drehkristallmethode bei der Analyse von Röntgenstrahlung

Bild 326.1:



$$n\lambda = 2d \sin \vartheta;$$

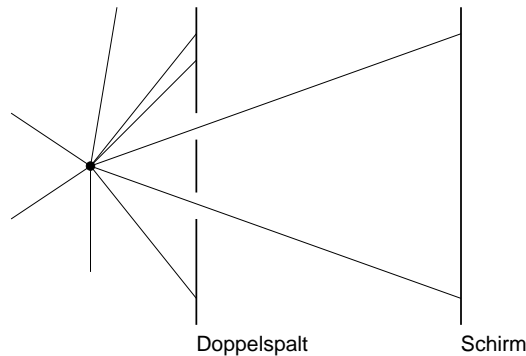


[Echt scharfer Knick im Spektrum, hängt mit der Quantelung der Energieübertragung ab.]

[Charakteristische Peaks, kommen von Elektronen in der Anode, die Schalen wechseln, nachdem andere Elektronen aus dem Kern rausgeworfen worden.]

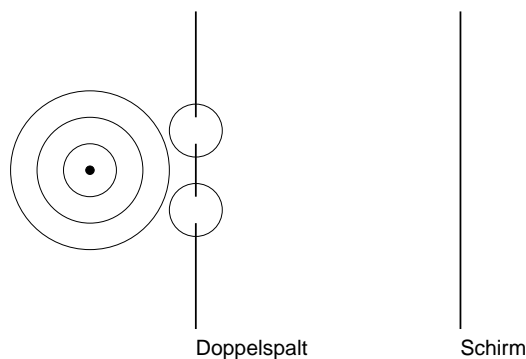
1.25 Zwei Modelle für das Phänomen „Licht“

1.25.1 Strahlenmodell



Sehr nützlich für Situationen, in denen die Lichtwellenlänge (bspw. 640 nm) \ll abzubildende Struktur (bspw. 64 mm).

1.25.2 Wellenmodell



27.07.2006

1.26 Klassische Strahlenoptik zum Thema Abbildung

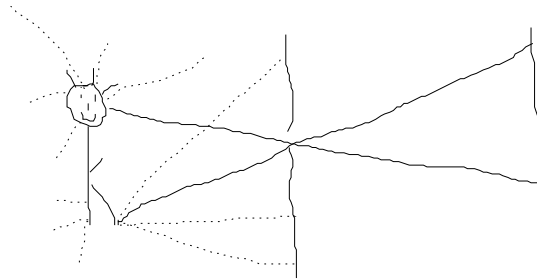
1.26.1 Am Anfang war das Loch

Das Wellenfeld, das von einer beleuchteten Klasse ausgesendet wird, liefert auf dem bloßen Fotopapier einen konturlosen Lichtbrei. Jeder „Leuchtpunkt“ der Klasse wird auf das komplette Fotopapier „hinverschmiert“.

Durch Ausblenden von 99,999 % der einfallenden Lichtstrahlen mithilfe einer Lochblende wird jedem Leuchtpunkt der Klasse **ein** Punkt auf dem Fotopapier zugeordnet. Diese Punkt-zu-Punkt-Zuordnung macht das Loch allein durch Ausblenden [von Information].

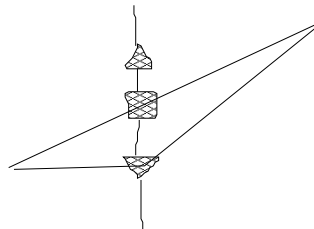
Das Loch ist was XXXbildendes.

Loch als Ordnungsprinzip! [→ Pro Punkt eine Richtung]



1.26.2 Die Dreilochblende mit zwei Prismen

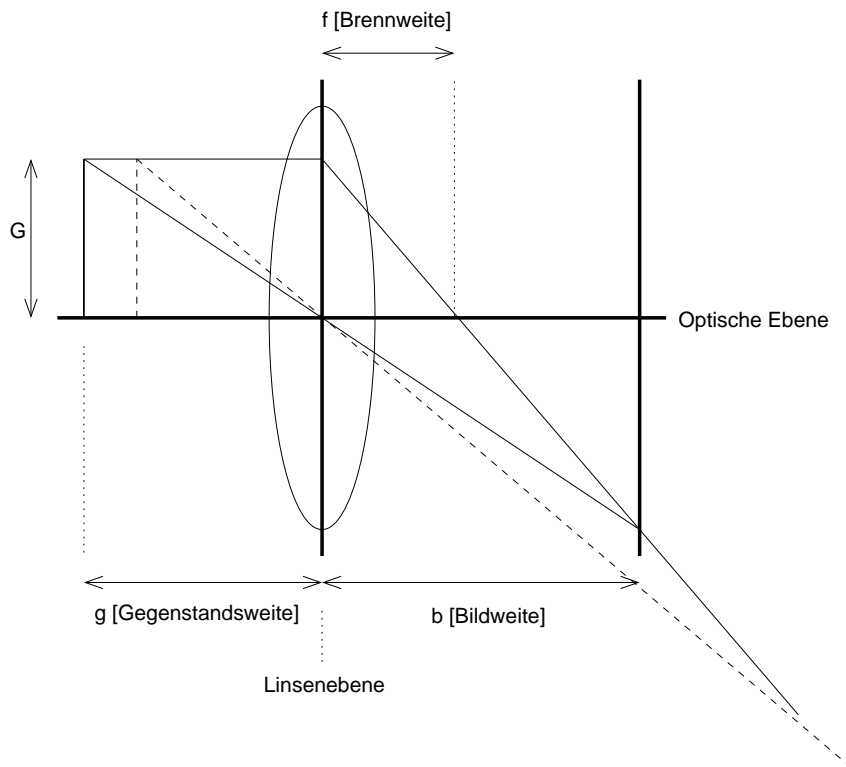
Die Lichtstärke wird durch die Verwendung mehrerer Löcher mit dazugeschalteten Strahlableitern (Prismen) gelöst.



05.08.2006

1.26.3 Die optische Abbildung

„Mittelstufe“



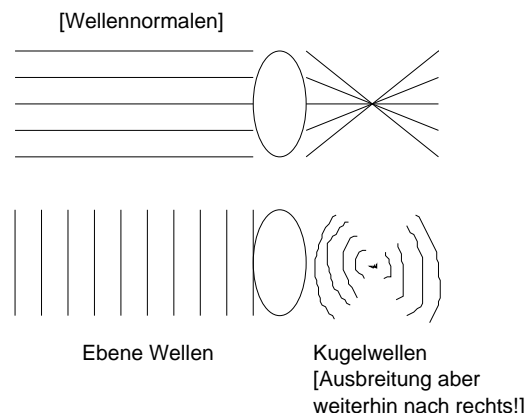
Parallelstrahlen \rightarrow Brennpunktstrahlen

Mittelpunktstrahlen erfahren keine Richtungsablenkung.

[Wenn die Linse „zu klein“ ist, funzt das ganze trotzdem!]

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}; \text{ (Linsengleichung)}$$

„Oberstufe“: Linse als Wellentransformator



1.27 Energie, Geschwindigkeit, Masse und Impuls in der relativistischen Theorie

$$E = m(v)c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}};$$

$$E^2 = (m(v)c^2)^2 = E_0^2 + (pc)^2;$$

„[zückt Farbkreide] Ich bin ein Liebhaber der mental-polychromen Physik“

$$E^2(v) = E_0^2 + (m(v)vc)^2;$$

$$E^2(v) = (m_0c^2)^2 + (m(v)vc)^2;$$

$$(m(v)c^2)^2 = (m_0c^2)^2 + (m(v)vc)^2;$$

[Innere und kinetische Energie lassen sich nicht trennen (Gegensatz zur klassischen Physik).]

$$\begin{array}{r} E \quad \dots\dots \\ \dots\dots \quad \cdot \\ \dots\dots \quad \cdot \quad p \quad c \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ E_0 \\ \\ m(v) \quad c^2 \dots\dots \\ \dots\dots \quad \cdot \\ \dots\dots \quad \cdot \quad m(v) \quad v \quad c \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ m_0 \quad c^2 \end{array}$$

12.10.2006

1.28 [Streuprozesse]

1.28.1 Geometrie und Algebra im Dreieck

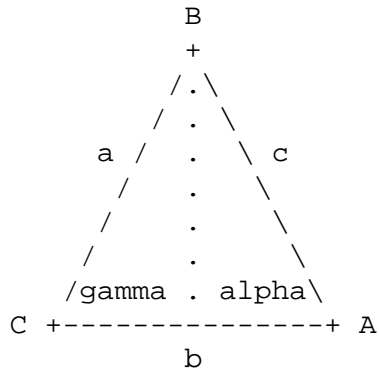
Kosinussatz

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma;$$

Sinussatz

$$h_{\text{links}} = \sin \gamma \cdot a = \sin \alpha \cdot c = h_{\text{rechts}};$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{a}{c};$$

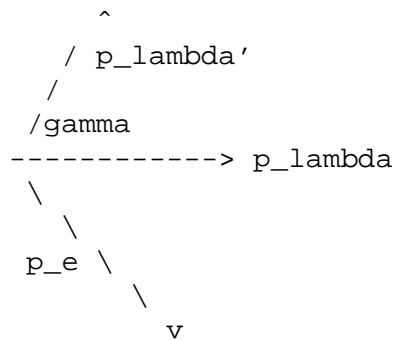


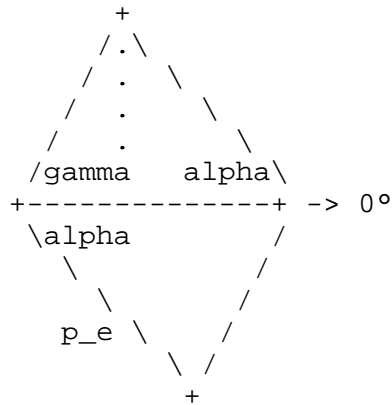
1.28.2 Anwendung der Dreiecksberechnungen in der Physik der Streuprozesse

Kosinussatz

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma; \rightarrow$$

$$(m_e(v_e)v_e)^2 = p_\lambda^2 + p_{\lambda'}^2 - 2p_\lambda p_{\lambda'} \cos \gamma;$$



Sinussatz

21.10.2006

1.29 [Fall von Licht]

Beim Fallen von Licht im Gravitationsfeld erhalten Körper Energie der Menge $E_{\text{kin}} = mg\Delta h$.

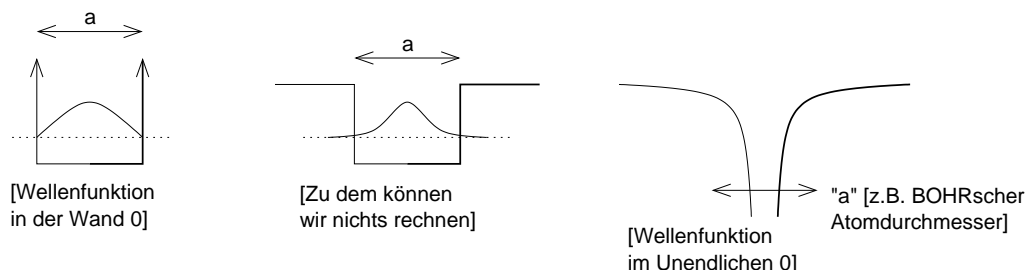
Dies gilt über $m = \frac{hf}{c^2}$ auf für Licht! Da aber Licht nicht schneller werden kann, muss die Energie in die Frequenz des Lichts gehen:

$$E' = hf' = hf + mg\Delta h = hf \left(1 + \frac{g\Delta h}{c^2}\right);$$

20.11.2006

1.30 [Atomphysik]**1.30.1 Der gebundene Zustand****Typische Vokabeln**

Gebundener Zustand; Streuzustand; Übergang; Absorption und Emission von Energie

Unterschiedliche Potenzialverläufe

27.11.2006

1.30.2 Leuchterscheinungen von Gasen

Gasentladungsröhren

Spektren des so erzeugten Lichts

Balmer-Formel 1885

Bohr 1913

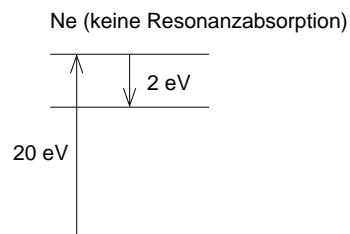
1.30.3 [Geschichtlicher Verlauf]

1. Balmer
2. Pickering
3. Lichtquantenhypothese
4. Bohr
5. de Broglie
6. $\Delta p \Delta x \geq \dots$;
Heisenberg
7. ?

29.11.2006

1.30.4 Das rote Neon-Leuchten beim Franck-Hertz-Versuch

$$\lambda \approx 700 \cdot 10^{-9} \text{ m}; \rightarrow E_{\text{Ph}} = h \cdot \frac{c}{\lambda} \approx 2 \text{ eV};$$

Drei Bildchen: Schaltbild; Potenzialgebirge; U - I -Diagramm

12.12.2006

1.31 Thermodynamik ↔ kinetische Gastheorie

1.31.1 Zur Einordnung: System „HOOKEsche Feder“

Variablen: F , x

Konstante: D

$F = Dx$; bzw. $D = \frac{F}{x}$ konst.

Zustandsdiagramm: [übliches x - F -Diagramm]

1.31.2 Das System „eingeschlossene Gasmenge“



Variablen: V , p , $[v]$ T , Stoffmenge n

Konstante: R

$pV = nRT$ gilt für alle Materie bei hinreichender Verdünnung.

Problem: Vier Variablen, d.h. vierdimensionales Zustandsdiagramm!