3. Metamaterials

- Wenn $\lambda \gg$ Gitterkonst $\Rightarrow$ homogener Körper
- Metamaterial: künstl. hergestellte periodische Festkörper
- Effektives Material mit $\lambda \gg$ Gitterkonst.
- magnetische Eigenschaften
- negative Brechzahl n möglich

$\Rightarrow$ „perfekte" Linsen herstellbar

- Wenn λ in Größenordnung von Gitterkonst $\Rightarrow$ Braggreflexion
- Metamaterialien $\hat{=}$ Linkshändige, ...

Maxwell Gleichungen und lineare Materialien

- Mediumlichtgeschw.
  - Wellengleichg lösen

  $\Rightarrow c^2 = \frac{c_0^2}{n^2}$ $\quad c_0$: Vakuumlichtgeschw.

  $\Rightarrow n^2 = \varepsilon\mu$ und $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$ (physikalisch sinnvolle Lösung usw.)

Impedanz Z (zweier Medien kann gleich sein)

Poyntingvektor $\vec{S} = (\vec{E} \times \vec{H})$ i. Allg. nicht $\parallel$ zu $\vec{k}$

Negative Brechzahl

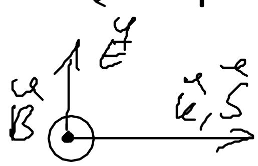
Z_0: Vakuumimpedanz wenn $Z = Z_0$, $\varepsilon = \mu = -1$, $n = -1$ (Medium)

Tangentialkomp. $\vec{E}, \vec{H}$ } erhalten $\quad \vec{B}$ (Vorzeichenwechsel)

Normalkomp. $\vec{D}$ $\quad$ (für $\vec{p}$-Polarisation)

$\varepsilon = \mu = n = 1$ (in Luft)

$\vec{k}, \vec{E}, \vec{B}$ (Rechtssystem)



- Bei photonic crystals $n < 0$ wegen Bragg-Reflexion

„Perfekte" Linsen

- Auflösung nicht limitiert durch λ (in Theorie ganz unendl.)
- „Linse" $\hat{=}$ planparallele Platte
- Optische Weglänge $s \cdot n$ $\quad$ hier $= 0$

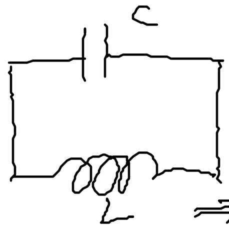
  n → Brechzahl

  s ↳ geometr. Weg

Strukturgrößen

- als 3cm Wellenlänge ⟶ bis zu μm
  ab 2007 auch im sichtbaren Frequenzbereich

negatives μ



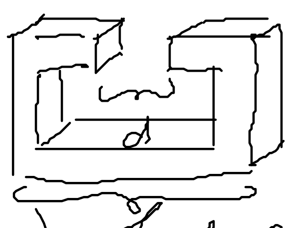
mit Schwingkreis ⇒ Resonanz
⇒ Verstärkung des Effektes
⇓
⇒ $\vec{B}$-Feld ⇒ diamagnetismus (μ etwas < 1)

Resonanzfrequenz ω_{LC}: für äußere Anregung wird

$\omega < \omega_{LC}$ ⇒ System in Phase

$\omega > \omega_{LC}$ ⇒ System gegenphasig

Eigenwellenlänge $\lambda_{LC} \approx 10 \cdot d$ (Durchmesser)



$$\mu(\omega) = 1 + \frac{F\omega^2}{\omega_{LC}^2 - \omega^2}$$

μ eines gedachten Materials

- Strom muss bekannt sein $\quad U_C + U_L = U_{ind} = -\dot{\Phi}$
- magnet. Moment $M(t) = l^2 \cdot I(t)$
- Induktionsgesetz

⇒ Statischer Fall $\omega = 0$ ⇒ $\mu = 1$

- $\underbrace{\text{magnetische Dipolresonanz}}_{\text{fundamentale Resonanz}}$ $\underbrace{\text{(phot. Kristalls elektr. Resonanz)}}_{\text{Mie Resonanz}}$

  μ kann < 0 sein ab bestimmter Frequenz

- Skalierung der $\omega_{LC} \propto$ zu $\sqrt{\frac{1}{\text{Größe}} + \text{const}}$
- Hier spielt E_{kin} der Elektronen eine Rolle

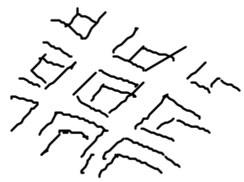
⇒ $L_{kin} \gg L_{geometr.}$ ⇒ $\omega_{LC} \propto \frac{1}{\sqrt{\text{Größe}^2 + \text{const}}}$

MWG skalierbar: für const ε, hier aber $\varepsilon(\omega)$.

- Verschiebungsstrom $\frac{d\vec{D}}{dt}$ (nicht ohmscher Strom)
- Lin: begrenzt Verkleinerungsmöglichkeiten

Negative Brechzahlen n

$\hat{=}$ Resonante Spule (Elektromagnet

- $n < 0$ bei Strukturen:  2D Drahtgitter
(z.B. im Mikrowellenbereich)
- Wellenvektor $\vec{k}$ und Poyntingvektor $\vec{S}$ antiparallel
$v_{Phase} < 0$ (d.h. $t < 0$)