

Wdh:

$$\uparrow p(t) = p_0 e^{i\omega t}$$

Nahzone: $a \ll r \ll \lambda = \frac{2\pi}{k}$, $\omega = ck$
Retardierung vernachlässigbar!

Fernzone: $a \ll r \ll \lambda$

$$\begin{aligned} \underline{E}^{(F)}(r, t) &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r^2} (r \times \dot{p}(t - \frac{r}{c})) \times \frac{r}{r} \\ &= c \underline{B}(r, t) \times \frac{r}{r} \end{aligned}$$

Poynting-Vektor: $\underline{S}(r, t) = \underline{E}(r, t) \times \underline{H}(r, t)$
 $= -\frac{1}{\mu_0} \underline{B}(r, t) \times \underline{E}(r, t)$

Fernzone:

$$\begin{aligned} \underline{S}^{(F)}(r, t) &= -\frac{c}{\mu_0 r} \underline{B} \times (\underline{B} \times \underline{r}) \\ &= \underline{B} \times \underline{B} - (\underline{B} \cdot \underline{B}) \underline{r} \end{aligned}$$

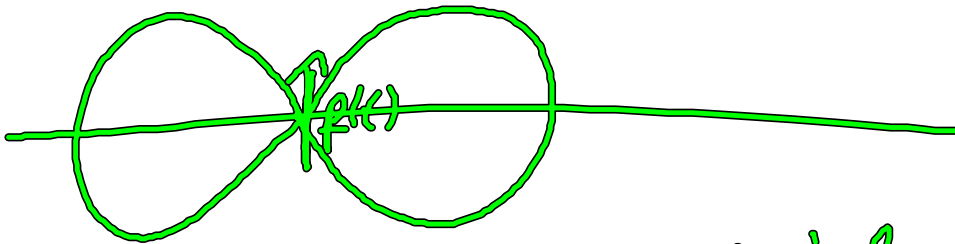
$$\begin{aligned}
 &= \frac{c}{\mu_0 n} \left(\frac{B}{c} \right)^2 \cdot n \\
 &= \frac{c}{\mu_0 n} \left(\frac{\mu_0}{4\pi c} \frac{1}{n} \right)^2 (c \times \dot{p}(\epsilon - \frac{r}{c}))^2 \cdot n \\
 &= \frac{\mu_0}{(4\pi)^2 c} \frac{1}{n^4} |\dot{p}|^2 n^2 \sin^2 \alpha \cdot \frac{n}{r}
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \boxed{S^{(F)}(r, t) = \frac{\mu_0}{(4\pi)^2 c} |\dot{p}|^2 \frac{1}{n^2} \sin^2 \alpha \frac{c}{r}}$$



Bemerkungen

- Abstandsabhängigkeit $\sim \frac{1}{r^2}$
- starke Richtungsabhängigkeit!



- maximale Energieraten
 "Dipol-Strahlungscharakteristik" in Richtung $\alpha = \pi/2$

dh. $\perp \dot{p}$

- keine Abstrahlung für $\alpha = 0, \pi$
 dh. $\parallel \dot{p}$

Speziell harmonische Schwingung:

$$p(t) = p_0 e^{-i\omega t}$$

$$\dot{p}(t) = \omega^2 p(t) = \omega^2 p_0 e^{-i\omega t}$$

$$\Rightarrow |\dot{p}|^2 = \omega^4 p_0^2$$

$$\Rightarrow \stackrel{(4)}{S}(r, t) = \frac{\mu_0}{(4\pi)^2 c} \omega^4 p_0^2 \frac{1}{r^2} \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

Frequenzabhängigkeit $\sim \omega^4$

Betrachte schließlich die gesamte
Strahlungsleistung des Hertz'schen Dipols

$$P_S = \int dF \cdot \underline{S}(r, t) = \frac{\mu_0}{(4\pi)^2 c} \omega^4 p_0^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi d(\cos\vartheta)$$

Kugel um den Dipol mit Radius R
 $\frac{\sin^2\vartheta}{R^2} \cdot R^2$

$\frac{8\pi}{3}$

$$\Rightarrow \boxed{P_S = \frac{\mu_0}{6\pi c} \omega^4 p_0^2}$$

Gesamt Strahlleistung!

VI, Materie in elektrischen und magnetischen Feldern

Vorbemerkung:

Die bisher betrachteten „Quellen“ elektromagnetischer Felder waren sog. „freie“ Ladungen $\rho(r, t)$ und Ströme $j(r, t)$

„frei“ \longleftrightarrow extern kontrollierbar und bekannt!

Beispiel: Elektroendück in Metalle, Ionen
in Elektrolyt

"frei" heißt auch:

Die Ladungen können beschleunigt
werden im äußeren Feldern

$$\underline{F} = q\underline{E} + q\underline{v} \times \underline{B}$$

in Materie:

hier gibt es auch nicht bewegliche, und damit
nicht extern kontrollierbare Ladungen und Ströme!

Diese Zusatzladungen und Ströme wirken aber
als Zusatzquellen elektromagnetischer Felder!

VI.1. Polarisation und dielektrische
Verschiebung in Materie

Betrachte Isolatoren

↔ Material ohne irgendwelche freien Ladungsträger!

also nur „gebundene“ Ladungen

z.B. Ionenkristall NaCl , molekularer Flüssigkeit (z.B. H_2O)

Man unterscheidet 2 Arten von
Zusatzladungen in einem Isolator

a) mikroskopische elektrische Dipole p
(z.B. H_2O -Moleküle)

Effekt eines externen E -Feldes

→ Ausrichtung der Dipole, Vorzeichen parallel zum Feld!

potentielle Energie
für permanente Dipole $\rightarrow W = -p \cdot E^{\text{ext}}$

permanente Dipol:
Der Dipol ist auch ohne externes Feld vorhanden!

Beach:

(in einem System
molekulare Dipol)

Der Grad der Ausrichtung ist

temperaturabhängig, da die thermische Energie
zu Fallig ist!

einfache
Theorie
dazu

$$\underline{E}^{ext} = E_0 \underline{e}_z$$

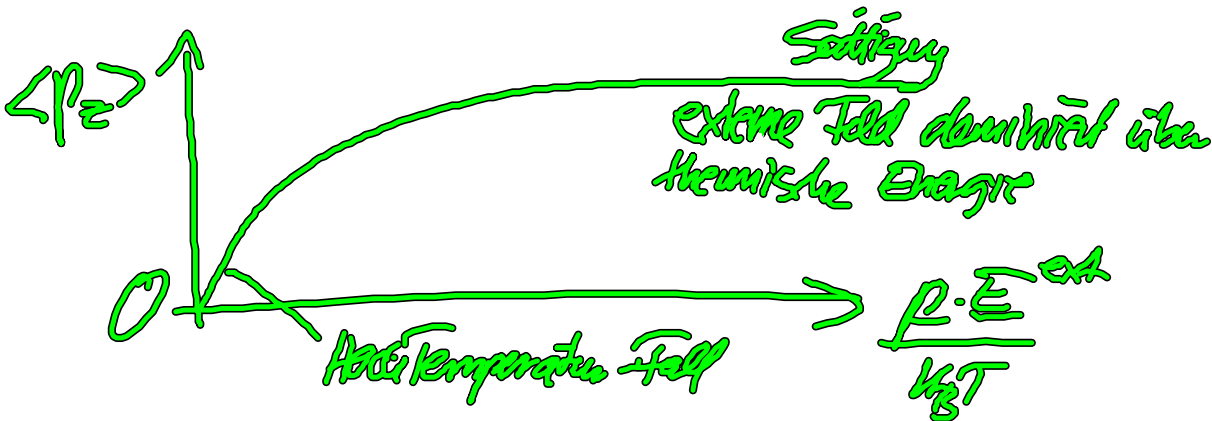
Integral über
dreifach!

$$\frac{1}{k_B T} \int \cos \theta \rho E_0 \cos \theta$$

$$\langle (p)_z \rangle \sim \int d\omega e$$

mittlere Ausrichtung
in z-Richtung

Boltzmann Faktor
zur Energie W
 $e^{-p \cdot E^{ext} / k_B T}$



„Orientierungspolarisation“

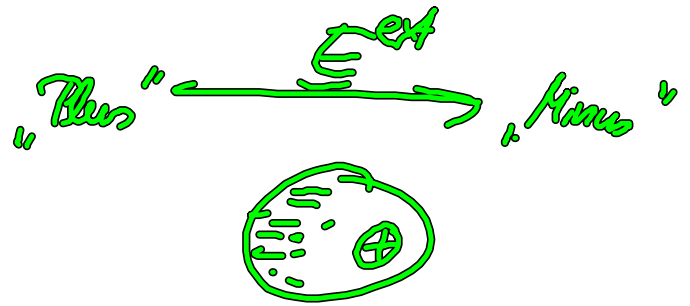
b) Nicht-polare Atome und Moleküle werden durch ein
 kein permanentes, externes E -Feld polarisiert
 Dipolmoment

→ es entstehen induzierte Dipole
 diese sind potenziell parallel
 zu E_{ext}



$p = 0$
 (kein permanentes
 Dipolmoment)

bei $E = 0$



$p \neq 0$
 durch "Trennung" der positiven
 (Kernladung) und negativen
 Ladungsträger!