

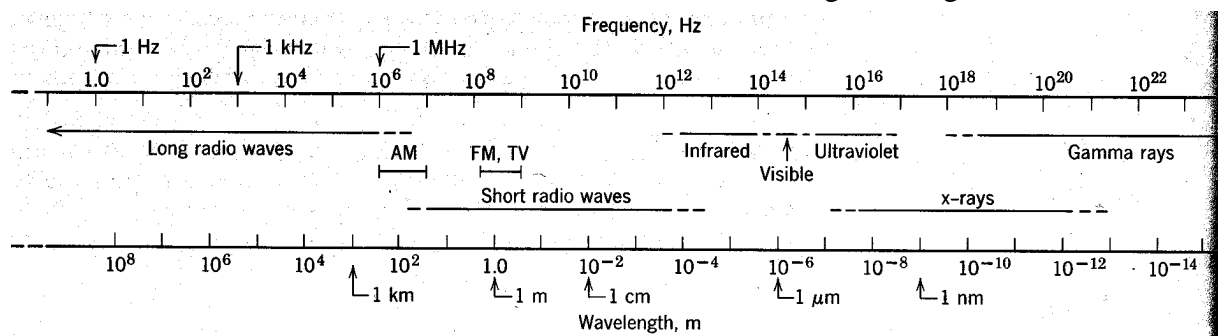
3 Elektromagnetische Wellen

Die „schwingenden Eigenschaften“ der elektromagnetischen (em) Wellen sind die Feldvektoren des elektrischen und magnetischen Feldes (\vec{E} – und \vec{B} – Feld).

Wir sind ständig von e.m.–Wellen umgeben: Sonne, Radio, TV, Radar, Mikrowellen, Glühlampen, Wärmestrahlung, Röntgenstrahlen, Blitze, γ – Strahlung (Radioaktivität)... Alle Informationen über das Universum erhalten wir durch e.m.–Strahlung (Teleskope, Satelliten, Radioastronomie, X–Rays...)¹

Der Frequenzbereich ist unbegrenzt.² Die „Optik“ befaßt sich im weitesten Sinne mit Licht, dessen sichtbarer Bereich zwischen $4.2 \cdot 10^{14}$ Hz bis $7.5 \cdot 10^{14}$ Hz liegt.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit aller e.m.–Wellen beträgt im Vakuum $c = 2.997925 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Lichtgeschwindigkeit). E– und B–Feld schwingen in Phase, sie stehen aufeinander senkrecht, beide stehen senkrecht auf der Ausbreitungsrichtung.



Intensität

Die Intensität einer Welle ist die pro Zeit durch eine Fläche transportierte Energie.

Die Energiedichte (Energie pro Volumen) des elektrischen Feldes beträgt

$$w_{el} = \frac{\epsilon_0}{2} E^2, \quad \epsilon_0 = \text{elektrische Feldkonstante},$$

E = elektrische Feldstärke.

Die Energiedichte des magnetischen Feldes beträgt

$$w_{mag} = \frac{1}{2\mu_0} B^2, \quad \mu_0 = \text{magnetische Feldkonstante},$$

B = magnetische Flußdichte.

In e.m.–Wellen sind E– und B–Feld in Phase; es gelten die Beziehungen

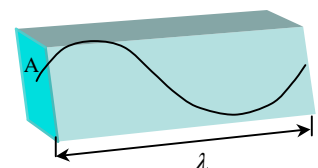
$$E = c \cdot B \quad \text{und} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}.$$

Damit ist die gesamte Energiedichte in einer e.m.–Welle gegeben durch

$$w_{e.m} = w_{el} + w_{mag} = \epsilon_0 E^2.$$

Wir betrachten einen Quader der Länge λ mit der Querschnittsfläche A . In diesem steckt dann die Gesamtenergie

$$W_{em} = A \cdot \int_0^\lambda w_{em} dx = A \cdot \epsilon_0 \int_0^\lambda E_0^2 \sin^2(kx - \omega t) dx = A \cdot \epsilon_0 \cdot E_0^2 \cdot \frac{\lambda}{2}.$$



¹ Abgesehen von den wiederkehrenden Sonden, die Material vom Mond geholt haben.

² $\nu = 10^{-2}$ Hz $\rightarrow \lambda = 5000r_{\text{Erde}}$ wurde beobachtet. Es gibt auch keine Lücken im Spektrum.

Die Intensität der Welle ist die durch die Fläche A strömende Leistung:

$$I = \frac{W_{em}}{A \cdot T} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot c \cdot E_0^2.$$

Es gilt also:

Die Intensität einer Welle ist proportional zum Quadrat ihrer Amplitude.

Bsp.: Eine punktförmige Lichtquelle strahlt homogen in den gesamten umgebenden Raum ab und liefert die konstante Strahlungsleistung P . Berechnen Sie die Feldstärken des elektrischen und magnetischen Feldes, die ein Beobachter im Abstand r von der Quelle beobachtet.

$$I = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2 = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$\Rightarrow E_0 = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P}{2\pi\epsilon_0 c}}, \quad B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{1}{cr} \sqrt{\frac{P}{2\pi\epsilon_0 c}}.$$

Von einer em-Welle wird nicht nur Energie übertragen, sondern auch Impuls. Dieser führt beim Auftreffen auf eine Oberfläche zum sogenannten „Strahlungsdruck“:

Trifft Strahlung der Energie $E_{\text{Strahlung}}$ auf eine vollständig absorbierende Oberfläche, so wird der Impuls

$$p_{\text{Strahlung}} = \frac{E_{\text{Strahlung}}}{c} \text{ übertragen (} c = \text{Lichtgeschwindigkeit).}$$

Wird die Strahlung vollständig von der Oberfläche reflektiert, so ist der Impulsübertrag doppelt so groß:

$$p_{\text{Strahlung}} = 2 \frac{E_{\text{Strahlung}}}{c}.$$

Bsp.: Licht der Intensität 10 W/cm^2 fällt eine Stunde lang senkrecht auf einen vollständig reflektierenden ebenen Spiegel der Größe 1 cm^2 . Welche Kraft wirkt auf den Spiegel?

$$\underline{\underline{F_{\text{Strahlung}}}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2E_{\text{Strahlung}}}{c \cdot \Delta t} = \frac{2(I \cdot A \cdot \Delta t)}{c \cdot \Delta t} = 2 \frac{I \cdot A}{c} = \underline{\underline{6,7 \cdot 10^{-8} \text{ N}}}.$$