

VU Physikalische Konzepte

SS 2016

Ernst Dorfi, Leopold Haimberger, Florian Ragossnig, Daniel Steiner

Blatt 3

1. Machen Sie sich mit Hilfe einer Skizze noch einmal klar, *wie genau* die Strahlungsintensität I_ν definiert ist. Beachten Sie dabei, dass diese Größe i.A. eine Funktion von Ort und Zeit ist (ein Strahlungsfeld), und an jedem Punkt eine Distribution in Frequenz und Richtung besitzt. Das vollständige Verständnis dieser fundamentalen Größe ist wichtig für alle Betrachtungen im Teilgebiet *Strahlungstransport*, nehmen Sie sich also Zeit dafür.
2. Eine alternative (mikroskopische) Betrachtungsweise des Strahlungsfeldes geht von der Beschreibung mit Hilfe von Photonen aus. Zu diesem Zweck wird die sogenannte Photonenanzahldichte ψ definiert, so dass $\psi(\vec{x}, t, \vec{n}, \nu) d\Omega d\nu$ die Anzahl der Photonen im Frequenzintervall $[\nu, \nu + d\nu]$ pro Einheitsvolumen am Ort $\vec{x}$ und Zeit t darstellen, welche sich mit Lichteschwindigkeit c in einem Raumwinkelement $d\Omega$ rund um die Richtung $\vec{n}$ zu finden sind. Unter Berücksichtigung dass jedes Photon die (frequenzabhängige) Energie $h\nu$ besitzt, berechnen Sie wie ψ mit der Intensität I_ν verknüpft ist.
3. Die Anzahl der Photonen, welche von allen beliebigen Raumwinkeln pro Zeitintervall dt und pro Frequenzintervall $[\nu, \nu + d\nu]$ durch die Fläche mit Flächenelement $d\vec{S}$ strömen, heißt *Netto-Photonenanzahlfluss* N und ist definiert durch

$$N = \left(\oint \psi(\vec{x}, t, \vec{n}, \nu) c \vec{n} d\Omega \right) \cdot d\vec{S}.$$

Stellen Sie, ausgehend von dieser Gleichung, den Bezug zum Netto-Strahlungsfluss $\vec{F}_\nu(\vec{x}, t)$ (1. Moment des Strahlungsfeldes I_ν) her.

Warum steckt das Wort 'Netto' in der Bezeichnung des Photonenanzahlflusses und des Strahlungsflusses (erklären Sie anhand einer Skizze).

4. Die Absorptionsrate und Emissionsrate von Photonen pro Zeit und bestimmter Frequenz ν sind definiert als:

$$\frac{dP_{\text{abs}}}{dt} = \left(\frac{q^2}{mc^3} \right) n(\nu) \omega^2 f,$$
$$\frac{dP_{\text{em}}}{dt} = \left(\frac{q^2}{mc^3} \right) (1 + n(\nu)) \omega^2 f,$$

wobei q die Elektronenladung, m die Elektronenmasse, c die Lichtgeschwindigkeit, $n(\nu)$ die Anzahl der Photonen mit bestimmter Frequenz, ω die Winkelgeschwindigkeit und f eine Funktion, welche einen elektrischen Dipol beschreibt, sind.

Bei Emission 'fällt' ein Elektron vom Energieniveau E_2 auf das niedrigere Niveau E_1 und gibt dabei ein Photon ab, bei Absorption wird ein Photon absorbiert und das Elektron 'springt' auf das Energieniveau E_2 . n_1 und n_2 bezeichnen die Anzahl der Atome in den beiden Zuständen.

Überlegen und erklären Sie schlüssig, warum im thermodynamischen Gleichgewicht folgende Relation gilt:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1 + n(\nu)}{n(\nu)} .$$

5. Betrachten Sie 2 Zustände eines Atoms mit den beiden Energien E_1 und E_2 . Es gilt $E_2 > E_1$ und $E_2 - E_1 = h\nu$. Zeigen Sie mit Hilfe des Resultats des vorherigen Beispiels, dass dann im Falle von thermodynamischem Gleichgewicht folgendes gilt (statistische Gewichte $g_1 = g_2 = 1$):

$$n_{eq}(\nu) = \frac{1}{e^{h\nu/(kT)} - 1} .$$