

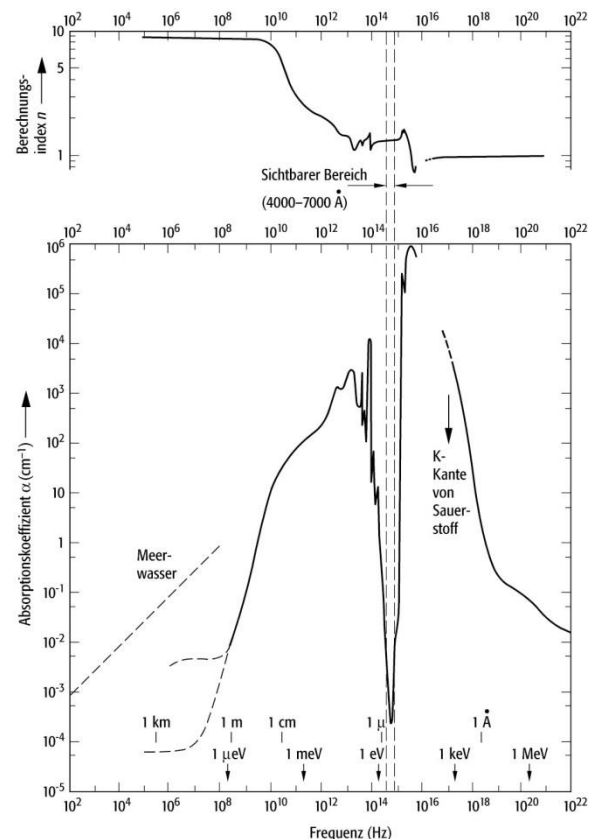
# Licht und Materie Übung I.2

Übungstermine: Gruppe 1 Di 20.11.18 (Raum 2.120), Gruppe 2 Do 22.11.18 (Raum 2.561), Gruppe 3 Fr 23.11.18 (Raum 2.150)

**Hinweise:** Jedes Übungsblatt besteht aus zwei regulären (gekennzeichnet mit einem *B*) und einer anspruchsvolleren *M* Aufgabe. Die Aufgabenteile (a), (b), ... sind entsprechend ihrer Schwierigkeit mit Punkten gewichtet. Zur Erlangung des Scheins benötigen Bachelor- und Lehramtsstudenten 50% der gesamten Punktzahl (kombiniert aus *B*- und *M*-Aufgaben). Masterstudenten benötigen 50% der gesamten Punktzahl und zusätzlich 50% der Punktzahl aller *M*-Aufgaben. Es muss mindestens einmal an der Tafel vorgerechnet werden.

## Aufgabe 1 (B, 20 Punkte)

- (5P) Ein U-Boot befindet sich in Meerwasser auf Tauchkurs. Warum können keine konventionellen Kommunikationsmöglichkeiten (Radar, Mobilfunk) verwendet werden, um mit dem U-Boot zu kommunizieren? Bestimmen Sie die maximale Eindringtiefe dieser Frequenzen (Signalstärke auf  $1/e$  abgefallen). Wäre eine Kommunikation mittels Laser denkbar?
- (5P) U-Boote können mittels Radiowellen im VLF (Very Low Frequency) Bereich bei etwa 10kHz, bzw. im SLF (Super Low Frequency) Bereich bei etwa 100Hz kommunizieren. Berechnen Sie die maximale Tauchtiefe, bei der eine Kommunikation dieser Art noch möglich ist. Wie groß sind die dafür benötigten Antennen? Welche Einschränkungen ergeben sich dadurch? Was sind Nachteile dieser Kommunikationsform?
- (10P) Finden Sie im nebenstehenden Graph eine Funktion für die Gerade des Absorptionskoeffizienten von Meerwasser und schätzen Sie damit den Wert bei 1Hz ab. Vergleichen Sie die Eindringtiefe mit vorherigen Ergebnissen. Weshalb unterscheiden sich die Absorptionskoeffizienten von Meerwasser und normalem Wasser?



**Abbildung 1** Absorptionskoeffizient und Brechungsindex von Wasser. Aus: Jackson, Classical Electrodynamics.

## Aufgabe 2 (B, 20 Punkte)

Ein Vakuumschmelzofen besitzt einen Schmelztiegel mit der Oberfläche  $A_1 = 100 \text{ cm}^2$  und der Temperatur  $T_1$ . Die umgebende Vakuumkammer ist im Vergleich groß und kann als idealer Hohlraum angenommen werden. Sie wird durch Kühlwasser auf Raumtemperatur gehalten. Wärmeleitung kann im Folgenden vernachlässigt werden.

- (5P) Mit einem Pyrometer wird die Strahlungsleistung des Tiegels mit  $22,8 \text{ W/cm}^2$  gemessen, wobei der Tiegel zunächst als schwarzer Körper angenommen werden kann. Wie heiß ist der Tiegel? Die Temperatur des Tiegels wird anschließend auf  $2500 \text{ K}$  erhöht. Wie ändert sich die abgestrahlte Energiemenge?
- (10P) Welche Heizleistung ist erforderlich, um die Temperatur des Tiegels auf  $T_1 = 2500 \text{ K}$  konstant zu halten, wenn nun der Absorptionsgrad des Tiegels mit  $\epsilon_1 = 0,35$  angenommen wird? Wie reduziert sich diese Heizleistung, wenn der Tiegel eng mit einer hochreflektierenden Folie (Reflexionsgrad  $\sim 95\%$ )

umgeben wird (die Fläche der Folie entspricht damit näherungsweise  $A_1$ ; außer Strahlung gebe es keinen Wärmetransport zwischen Tiegel und Folie)? Wie heiß wird die Folie?

- (c) (5P) Bei Betrachtung des Tiegels durch ein Fenster fällt auf, dass der Tiegel ein helles Leuchten abgibt. Bei welcher Wellenlänge liegt das Maximum dieser Strahlung? In welchem spektralen Bereich der elektromagnetischen Strahlung befindet es sich? Stellen Sie die spektrale Energiedichte des glühenden Tiegels mit dem der Sonne in einem gemeinsamen Plot dar. Schätzen Sie ab: Können Sie von der Strahlung des Tiegels einen Sonnenbrand bekommen?

### Aufgabe 3 (M, 30 Punkte)

- (a) (5P) Erklären Sie qualitativ das Zustandekommen des permanenten Dipolmoments von Wassermolekülen. Nehmen Sie ein äußeres, homogenes statisches Feld  $\mathbf{E} = E_0 \mathbf{e}_z$  an. Erklären Sie qualitativ, wie sich die Wassermoleküle im flüssigen oder gasförmigen Zustand ausrichten.
- (b) (10P) Die qualitativen Überlegungen aus (a) sollen nun quantitativ untersucht werden. Die potentielle Energie eines einzelnen Dipols im Feld ist

$$W(\theta) = -\mathbf{p}\mathbf{E} = -pE \cos \theta$$

Berechnen sie den Mittelwert  $\langle p_z \rangle = p \cos \theta$  der z-Komponente des Dipolmoments unter der Annahme, dass diese Größe Boltzmann-verteilt ist, d.h. dass

$$\langle p_z \rangle = \frac{\int dx p_z(x) e^{-E(x)/k_B T}}{\int dx e^{-E(x)/k_B T}}$$

gilt. Entwickeln Sie die Integranden in eine Potenzreihe und zeigen Sie, dass gilt

$$\langle p_z \rangle = \frac{p^2 E}{3k_B T} \left( 1 + \mathcal{O}\left(\frac{pE}{k_B T}\right) \right)$$

Anhand dieser Gleichung wird die *statische Polarisierbarkeit*  $\alpha = \frac{p^2}{3k_B T}$  definiert.

- (c) (10P) Betrachten Sie im Folgenden ein Ensemble von Dipolen. Schließen Sie durch Symmetrieüberlegungen von  $\langle p_z \rangle \approx \alpha E$  auf  $\langle \mathbf{p} \rangle \approx \alpha \mathbf{E}$ . Was würden Sie im Grenzfall hoher Felder  $\mathbf{E}$  physikalisch erwarten (Hinweis: Vergleichen Sie Ihre Überlegung mit dem Resultat aus Aufgabenteil (b))? Bestätigen Sie Ihre Vermutung, indem Sie die Integration in Aufgabenteil (b) exakt ausführen. Erstellen Sie einen Graph für das exakte und genäherte Resultat für  $\langle \mathbf{p} \rangle$ .
- (d) (5P) Die Permittivität hängt mit der Polarisierbarkeit über die Moleküldichte  $n_0$  zusammen

$$\epsilon = 1 + 4\pi n_0 \alpha$$

Berechnen Sie  $\epsilon$  bei Raumtemperatur für  $n_0 = 0.03 \text{ \AA}^{-3}$ . Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Literaturwert. Woher kommt die Abweichung?

### Zusatzfragen

- Erläutere den Effekt der Nebensonnen.
- Was ist der Unterschied zwischen Streuung und Reflexion?
- Erklären Sie die Grenzen des Auges als Spektrometer.
- Stellen Sie die Einheit eV in Abhängigkeit der Wellenlänge dar. Wie ist diese mit der Temperatur verknüpft?