Universität des Saarlandes
Fakultät NT - Experimentalphysik

Prof. Dr. Christoph Becher

05.07.2021

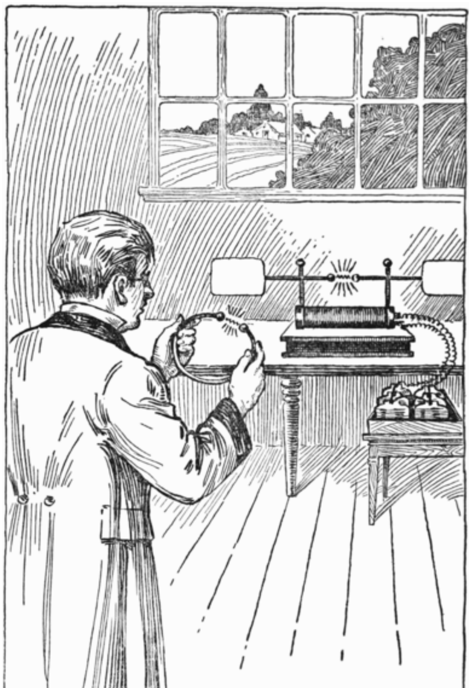
Experimentalphysik II – Elektrizitätslehre
Sommersemester 2021

Übungsblatt 13

Besprechung in der Woche ab dem 12.07.2021

Aufgabe 47: Versuch von Heinrich Hertz (2P)

Heinrich Hertz stellte 1888 eine Dipolantenne und eine Metallplatte so auf, dass die Schwingungsrichtung des Dipols parallel zur Ebene der Metallplatte ausgerichtet war. Als Nachweisgerät für elektromagnetische Wellen verwendete er einen kleinen Drahtring, der an einer Stelle eine Unterbrechung hatte. Wenn er diesen Ring im Raum zwischen der Antenne und der Platte geeignet platzierte, so konnte Funkenentladungen in dem Schlitz des Rings beobachten (Abbildung weicht leicht von der Aufgabenstellung ab).



Quelle: Wikipedia

a) Begründen Sie, welche Komponente des elektromagnetischen Feldes Hertz mit diesem Nachweisgerät nachweisen konnte. Geben Sie begründet an, wie er den Ring dazu orientieren musste. (1P)

b) Es gibt Stellen im Raum, an denen das Nachweisgerät auch bei richtiger Orientierung kein Signal liefert. Beschreiben Sie die Lage dieser Stellen begründet. Beschreiben Sie auch die Lage der Stellen maximaler Entladung. (1P)

Aufgabe 48: Poynting-Vektor eines schwingenden Dipols (4P)

Im Fernfeld eines Hertzschen Dipols lassen sich das magnetische bzw. elektrische Feld schreiben als:

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 r^3}\left[-\ddot{\vec{p}}\left(t-\frac{r}{c}\right)\times\vec{r}\right]\times\vec{r}$$
$$\vec{B}(\vec{r},t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2 r^3}\left[\frac{r}{c}\left(\ddot{\vec{p}}\left(t-\frac{r}{c}\right)\times\vec{r}\right)\right]$$

a) Berechnen sie die Beträge der obigen Felder für einen Dipol in $\hat{e}_z$-Richtung und bestimmen sie damit die Energiedichte $w_{em} = \frac{1}{2}\epsilon_0(E^2 + c^2B^2)$ des elektromagnetischen Feldes. (2P) Hinweis: Stellen Sie $\vec{r}$ in Kugelkoordinaten dar.

b) Berechnen sie daraus die Energiestromdichte $|\vec{S}| = cw_{em}$ und skizzieren sie die räumliche Verteilung der Leistungsabstrahlung eines schwingenden Dipols in der x-z-Ebene, wobei der Dipol in z-Richtung schwingt. (1P)

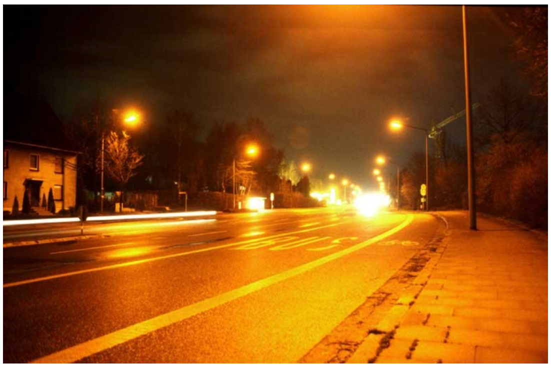
c) Die in den gesamten Raum abgestrahlte Leistung ist gegeben durch

$$P_{em} = \oint \vec{S} d\vec{A}$$

wobei $\vec{S}$ der Poynting-Vektor und $d\vec{A}$ das Flächenelement der Kugelschale ist. Berechnen Sie die abgestrahlte Leistung und mitteln Sie diese anschließend über eine Periode der Dipolschwingung. (1P)

Aufgabe 49: Lichterzeugung in einer Natrium-Dampflampe (2P)

In einer Natriumdampflampe erfolgt die Lichtemission über atomare Fluoreszenzstrahlung auf der sogenannten Natrium-D Linie. Das angeregte Energieniveau im Atom hat eine mittlere Lebensdauer von $\tau = \frac{1}{\gamma}$. Hierbei bezeichnet γ die relative Energieabnahme pro Zeit. Die emittierte Strahlung hat eine Wellenlänge von λ=589 nm. Im Natriumatom erfolgt die Lichtemission durch das einzelne Elektron in der äußersten Schale (*Leuchtelektron*).



a) Die Anregungsenergie eines einzelnen Atoms, und damit die im einzelnen Emissionsprozess abgestrahlte Energie, lässt sich mit Hilfe des Planck'schen Wirkungsquantums h=6.626 $\times 10^{-34}$ J s zu $E = h\nu$ berechnen (siehe Oberstufe), wobei ν die der Wellenlänge λ entsprechende Frequenz ist. Bestimmen Sie unter der Annahme des Modells eines Hertzschen Dipols mit $q = e$, die anfängliche Schwingungsamplitude d_0. (0.5P)

b) Berechnen Sie entsprechend der vorherigen Aufgabe die mittlere abgestrahlte Leistung des angeregten Atoms (zur Kontrolle: P_{em}=21.6 $\times 10^{-12}$ W). (0.5P)

c) Durch die Abstrahlung wird der schwingende Dipol gedämpft. Nutzen Sie die bisherigen Ergebnisse um die mittlere Lebensdauer des angeregten Zustands abzuschätzen. (0.5P)

d) Das Atom emittiere die Strahlung gleichzeitig mit rund 5×10^{12} weiteren Atomen in einer Straßenlaterne in einen Raumwinkel von 2π. Berechnen Sie die Intensität (Leistung pro Fläche) auf dem Bürgersteig 5 m unter der Laterne. (0.5P)

Aufgabe 50: Elektromagnetische Welle (3P)

Eine ebene elektromagnetische Welle mit einer Wellenlänge von $\lambda = 3$ m bewege sich im Vakuum in positiver x-Richtung. Die Welle sei rechtszirkular polarisiert und das elektrische Feld habe eine Amplitude von 300 V/m.

a) Berechnen Sie die Frequenz ν, die Kreisfrequenz ω und den Wellenvektor $\vec{k}$. (1P)

b) Stellen Sie die Wellenfunktion $\vec{E}(x,t)$ für das elektrische Feld auf und zeigen Sie, dass diese eine Lösung der Wellengleichung $\Delta\vec{E}(x,t) = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\vec{E}(x,t)$ ist. (1P)

c) Geben Sie den Ausdruck für das entsprechende magnetische Feld $\vec{B}(x,t)$ an und berechnen Sie den Poynting-Vektor $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}$ sowie den zeitgemittelten Energiefluss $\langle|\vec{S}|\rangle_t$ (Intensität). (1P)