Ferienkurs
Experimentalphysik 2

Sommer 2014

Übung 2 - Angabe

1 Elektromagnetische Wellen

Gegeben seien die beiden elektromagnetischen Wellen:

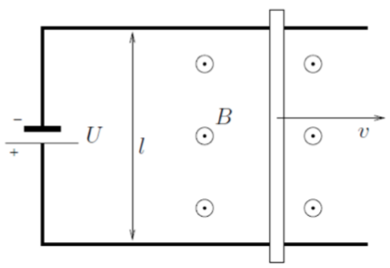
$$\vec{E}_1(t,\vec{r}) = E\vec{e}_z cos(\omega t - \vec{k}_1\vec{r}) \quad , \quad \vec{E}_2(t,\vec{r}) = E\vec{e}_z cos(\omega t - \vec{k}_2\vec{r}) \tag{1}$$

mit $\omega = |\vec{k}_1|c = |\vec{k}_2|c$. (Die zugehörigen B - Felder spielen im Folgenden keine Rolle). Beide Wellen haben also dieselbe Amplitude, Wellenlänge, Frequenz und Polarisation und unterscheiden sich einzig durch ihre Ausbreitungsrichtungen $\vec{k}_1, \vec{k}_2$, die beide in der x - y - Ebene liegen sollen. Betrachten Sie nun das Überlagerungsfeld $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

1. Warum ist mit $\vec{E}_1$ und $\vec{E}_2$ auch $\vec{E}$ eine Lösung der Maxwell - Gleichungen?
2. Schreiben Sie das Überlagerungsfeld $\vec{E}$ in einer Form, aus der seine Gestalt und seine zeitliche Entwicklung besser erkennbar ist.
   Hinweis: Verwenden Sie $cos(\phi_1) + cos(\phi_2) = 2cos(\frac{1}{2}(\phi_1 - \phi_2))cos(\frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2))$.
3. Es sei nun $\vec{k}_1 = k\vec{n}_1$ und $\vec{k}_2 = k\vec{n}_2$ mit $\vec{n}_1 = (cos(45°), sin(45°), 0), \vec{n}_2 = (cos(45°), -sin(45°), 0)$ und $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\lambda = 1m$. Schreiben Sie das zugehörige Feld $\vec{E}$ in der Form 2. Zur Zeit $t = 0$ hat $\vec{E}$ bei $\vec{r} = 0$ ein Maximum. In welche Richtung bewegt sich das Maximum? Wohin ist das Maximum nach einer Schwingungsperiode $T = \frac{2\pi}{\omega}$ gewandert? Vergleichen Sie die Geschwindigkeit, mit der das Maximum gewandert ist, mit der Lichtgeschwindigkeit. Ist das Ergebnis ein Grund der Beunruhigung?

2 Metalldraht auf Schienen

Ein Metalldraht mit der Masse m und Widerstand R gleitet reibungsfrei auf zwei paralleln Metallschienen in einem zeitlich konstanten homogenen Magnetfeld B, so wie in der Abbildung dargestellt. Die Batterie liefert die konstante Spannung U.



1. Bestimmen Sie die im Draht induzierte Spannung und den Strom, wenn sich der Draht mit der Geschwindigkeit v entlang der Schienen bewegt.
2. Stellen Sie die Bewegungsgleichung für den Draht auf und bestimmen Sie $v(t)$, wenn der Draht anfänglich ruht. Was geschieht für $t \longrightarrow \infty$?
3. Bestimmen Sie den Grenzwert des Stroms für $t \longrightarrow \infty$

3 Wechselstrom und komplexe Widerstände

Eine Wechselspannungsquelle liefert die Effektivspannung $U = 6V$ mit der Frequenz $\nu = 50Hz$. Zunächst wird ein Kondensator der Kapazität C angeschlossen und es fließt ein Effektivstrom $I_1 = 96mA$. dann wird statt des Kondensators eine Spule mit Induktivität L und Ohmschen Widerstand R angeschlossen, der Effektivstrom beträgt dann $I_2 = 34mA$. Schließlich werden Kondensator und Spule hintereinandergeschaltet und es fließen $I_3 = 46mA$.

1. Setzen Sie die Spannung der Stromquelle in komplexer Form als $U(t) = \hat{U}e^{i\omega t}$ an und leiten Sie damit allgemein den Scheinwiderstand (d.h. den Absolutbetrag des komplexen Widerstandes) her von:
   (a) einer Kapazität C,
   (b) einer reinen Induktivität L,
   (c) einer Spule mit L und R,
   (d) einer Reihenschaltung aus einer Kapazität C und einer Spule mit L und R.
2. Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators sowie die Induktivität und den Ohmschen Widerstand der Spule aus den oben angegebenen experimentellen Werten.

4 Ungedämpfter Schwingkreis und Resonanzkatastrophe

1. Stellen Sie die Differentialgleichung auf, die einen ungedämpften elektrischen Schwingkreis beschreibt, der mit der Wechselspannung $U(t)\hat{U}e^{i\omega t}$ angeregt wird ($\hat{U}$ sei o.B.d.A. reell), und finden Sie mit dem Ansatz $Q(t) = \hat{Q}e^{i\omega t}$ eine spezielle homogene Lösung.
2. Finden Sie mit Hilfe des Ergebnisses von 1. eine spezielle homogene Lösung der "physikalisch realen" Differentialgleichung des Schwingkreises mit der Wechselspannung $U(t) = \hat{U}cos\omega t$.
3. Schreiben Sie die allgemeine reelle Lösung der "physikalisch realen" Differentialgleichung an und arbeiten Sie die Anfangsbedingung unmittelbar nach dem Schließen des Schalters ein, d.h. $Q(0) = 0$ und $I(0) = 0$.
   Hinweis: Die allgemeine Lösung ist die Summe aus spezieller inhomogener und allgemeiner homogener Lösung
4. Wenn die Anregungsfrequenz ω genau mit der Eigenfrequenz ω_0 des ungedämpften Schwingkreises übereinstimmt, wird das Ergebnis aus 3. undefiniert. Überlegen Sie sich, wie Sie die Situation "retten" können, d.h. wie Sie aus dem Ergebnis von 3. für $\omega \neq \omega_0$ den zeitlichen Verlauf von Q auch bei Anregung auf Resonanz erhalten können. Wieso bezeichnet man das Resultat als "Resonanzkatastrophe"?

5 Parallele Drähte

Zwei gleiche parallele Drähte mit Radius $r = 5mm$ befinden sich im Abstand $a = 10cm$ in Luft ($\varepsilon_r = 1, \mu_r = 1$). Die Induktivität pro Länge dieser Doppelleitung ist:

$$L* = \frac{L}{l} = \frac{\mu_0}{\pi}\left(ln\left(\frac{a}{r}\right) + \frac{1}{4}\right) \tag{2}$$

Ohmsche Widerstände können vernachlässigt werden. Wie groß ist der Wellenwiderstand dieser Leitung?
Hinweis: Es wird hier $L*$ für die Induktivität pro Länge benutzt und $C*$ für die Kapazität pro Länge um Verwechslungen mit der Lichtgeschwindigkeit c und der Länge l auszuschliessen.