Klausur zur Experimentalphysik 2

Prof. Dr. T. Hugel
Sommersemester 2013
25. Juli 2013

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 beidseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Bearbeitungszeit 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

Aufgabe 1 (5 Punkte)

(a) Wie kann man experimentell zwischen einem diamagnetischen, einem paramagnetischen und einem ferromagnetischen Material unterscheiden?

(b) Ein leitendes, schwingendes Pendel taucht in ein homogenes Magnetfeld ein. Erläutern Sie die Dämpfung mithilfe der Lenzschen Regel.

(c) Sie haben einen Stoff mit zwei Sorten von beweglichen Ladungsträgern. Sie schließen einen Spannungsquelle an. Von welchen Parametern hängt ab welchen Stromanteil am Gesamtstrom jede der beiden Ladungsträgersorten beiträgt?

Lösung

(a) In einem starken, inhomogenen Magnetfeld erfährt ein diamagnetischer Körper aufgrund der Lenzschen Regel und der Abschwächung des Feldes eine schwache Kraft, die in in Richtung abnehmender Feldstärke wirkt. Ein paramagnetischer Körper dagegen erfährt aufgrund der Orientierung der vorhandenen magnetischen Dipolmomente und der Verstärkung des Feldes eine schwache Kraft, die in Richtung zunehmender Feldstärke wirkt. Ein ferromagnetischer Körper erfährt ebenfalls eine in Richtung zunehmender Feldstärke wirkende Kraft, die aber wegen in Weissschen Bezirken bereits parallel zueinander orientierter magnetischer Dipolmomente um ein Vielfaches stärker ist als beim Paramagnetismus.

[**2**]

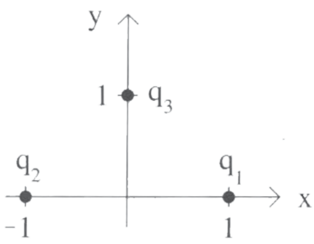
(b) In dem bewegten Leiter werden Wirbelströme induziert. Das dadurch erzeugte Magnetfeld ist dem äußerem aufgrund der Lenzschen Regel entgegengesetzt und bewirkt deshalb eine die Bewegung abbremsende Kraft.

[**1**]

(c) Die Parameter sind die Ladung der Ladungsträger (z.B.Ca^{2+}), die Beweglichkeit der Ladungsträger, sowie die Konzentration der Ladungsträger im Körper.

[**2**]

Aufgabe 2 (3 Punkte)



Gegeben seien drei Ladungen $q_1 = q$, $q_2 = -q$ und $q_3 = q$, die sich an den Punkten $\vec{r}_1 = (1,0), \vec{r}_2 = (-1,0)$ und $\vec{r}_3 = (0,1)$ befinden und unbeweglich sind.

(a) Bestimmen Sie das Potenzial $V(\vec{r})$, das durch diese drei Ladungen erzeugt wird.

(b) Berechnen Sie die Kraft, die auf die Ladung q_1 ausgeübt wird.

Lösung

(a) Es gilt $V_i(\vec{r}) = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{q_i}{|\vec{r}-\vec{r}_i|}$, also

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{q}{|\vec{r}-(1,0)|} - \frac{q}{|\vec{r}-(-1,0)|} + \frac{q}{|\vec{r}-(0,1)|} \right)$$

[**1**]

(b) Für die Kraft gilt $\vec{F} = q\vec{E} = -q \operatorname{grad} V$ und

$$\vec{F}_{ij} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_i q_j}{(\vec{r}_i - \vec{r}_j)^2} \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|}$$

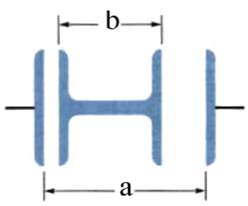
[**1**]

und folglich

$$\vec{F} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{13} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{-q^2}{2^2}(1,0) + \frac{q^2}{2} \frac{(1,-1)}{\sqrt{2}} \right) = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0} \frac{1}{4} (\sqrt{2}-1, -\sqrt{2})$$

[**1**]

Aufgabe 3 (4 Punkte)



Die Abbildung zeigt zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren. Das mittlere Bauteil der Länge b ist in horizontaler Richtung beweglich.

(a) Berechnen Sie die Gesamtkapazität C der Anordnung

(b) Wie hängt C von der horizontalen Position des mittleren Bauteils ab?

(c) Wie ändert sich die Gesamtkapazität, wenn die Anordnung in öl getaucht wird, das eine Dielektrizitätskonstante κ hat?

Lösung

(a) Es handelt sich dabei um eine Reihenschaltung von zwei Kondensatoren, mit den Plattenabständen d_1 und d_2. Damit gilt

$$\begin{aligned}\frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \\ C_1 &= \frac{\varepsilon_0 A}{d} \\ d_1 &= a - b - d_2\end{aligned}$$

[1]

Entsprechende Gleichungen erhält man für d_2. Damit erhält man

$$\frac{1}{C} = \frac{d_1 + d_2}{\varepsilon_0 A} = \frac{a-b}{\varepsilon_0 A}$$

[1]

(b) C hängt nicht von der vertikalen Position ab.

[1]

(c) $C' = \kappa C$

[1]

Aufgabe 4 (4 Punkte)

Ein dünner, nicht leitender Stab der Länge $l = 28\text{mm}$ trage eine gleichmäßig über seine Länge verteilte Ladung Q. Er rotiere mit einer Kreisfrequenz $\omega = 1920\text{s}^{-1}$ um eine senkrecht zu seiner Längsachse durch eins seiner Enden gehende Achse und erzeuge dadurch ein magnetisches Dipolmoment $\vec{m} = 2{,}17 \cdot 10^{-10}\text{Am}^2$.

(a) Wie ist das magnetische Dipolmoment definiert?

(b) Wie groß ist die Ladung Q?

(c) Wie groß ist der Betrag des auf den magnetischen Dipol wirkenden Drehmoments in einem Magnetfeld mit der Flussdichte $\vec{B} = 0{,}322\text{T}$, das unter einem Winkel von $68°$ zum Vektor des Dipolmoments steht?

Lösung

(a)

$$\vec{m} = I \cdot \vec{A}$$

[1]

(b) Hier gilt

$$\begin{aligned}
\mathrm{d}m &= A\,\mathrm{d}I = \pi r^2 \frac{\omega}{2\pi}\,\mathrm{d}Q = r^2 \frac{\omega}{2}\frac{Q}{l}\,\mathrm{d}r \\
m &= \frac{\omega Q}{2l}\int_0^l r^2\,\mathrm{d}r = \frac{\omega Q}{2l}\frac{l^3}{3} = \frac{\omega Q l^2}{6} \\
Q &= \frac{6m}{\omega l^2} = \frac{6 \cdot 2,17 \cdot 10^{-10}\mathrm{Am}^2}{1920\mathrm{s}^{-1} \cdot (28 \cdot 10^{-3}\mathrm{m})^2} = 8,65 \cdot 10^{-10}\mathrm{C}
\end{aligned}$$

[2]

(c) Entweder $\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B}$.

Hier ergibt sich

$$T = mB\sin\varphi = 2,17 \cdot 10^{-10}\mathrm{Am}^2 \cdot 0,322\mathrm{T} \cdot \sin 68^\circ = 6,48 \cdot 10^{-11}\mathrm{Nm}$$

[1]

Aufgabe 5 (3 Punkte)

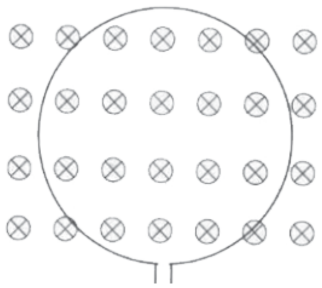


Abbildung 1: Zu Aufgabe 8

Eine kreisförmige Leiterschleife befinde sich in einem homogenen Magnetfeld, das senkrecht zur Kreisfläche steht.

Diese Leiterschleife wird nun zusammengezogen, und zwar so, dass der Radius der Schleife lineare mit der Zeit abnimmt. Wie groß ist die in der Schleife induzierte Spannung $V(t)$? In welche Richtung fließt der Strom, im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn?

Lösung

Es gilt

$$\phi_B = \int \vec{B}\,\mathrm{d}\vec{S} = B\pi r^2 = B\pi(r_0 - at)^2$$

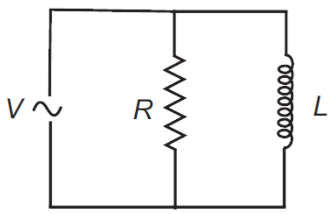
$$V_{\mathrm{ind}} = -\dot{\phi} = -B\pi \frac{\mathrm{d}(r_0 - at)^2}{\mathrm{d}t} = -2\pi B(r_0 - at)(-a) = 2a\pi B(r_0 - at)$$

[**2**]

Der induzierte Strom erzeugt ein Magnetfeld, das im Inneren der Schleife der änderung des Flusses entgegenwirkt. Da der Fluss durch das Zusammenziehen abnimmt, muss durch den Strom ein Magnetfeld erzeugt werden, dass im Inneren der Schleife dieselbe Richtung hat wie das ursprüngliche Magnetfeld. Also fließt der Strom im Uhrzeigersinn.

[**1**]

Aufgabe 6 (5 Punkte)



Eine Parallelschaltung eines Widerstandes R und einer Spule L wird mit einer Wechselspannung $V(t) = V_0 e^{i\omega t}$ betrieben.

(a) Skizzieren Sie in der komplexen Ebene die komplexen Ströme I_R (Strom durch den Widerstand) und I_L (Strom durch die Spule) zum Zeitpunkt $t = 0$.

(b) Berechnen Sie den Phasenunterschied zwischen der Spannung an der Wechselspannungsquelle und der Spannung an der Spule.

(c) Berechnen Sie den Phasenunterschied $\tan\phi$ zwischen dem Strom an der Spannungsquelle und dem Strom durch die Spule I_L.

Lösung

(a) Der Strom durch den Widerstand ist $I_R = {}^{V_0}/_{R}$ (rein reell) und der Strom durch die Spule ist $I_L = {}^{V_0}/_{(i\omega L)} = -{}^{V_0}/_{\omega L}$ (rein komplex), ein Bild ist einfach zu Zeichen (z. B. y-Achse Imaginärteil und x-Achse Realteil)

[**1**]

(b) Die Spannungen sind hier in Phase.

[**1,5**]

(c) Der Strom an der Spannungsquelle hat einen Realteil und Imaginärteil:

$$I_{\text{ges}} = \frac{V}{Z_{\text{ges}}} = V\frac{i\omega L + R}{i\omega LR} = \frac{V}{R} - i\frac{V}{\omega L}$$

Der Strom an der Spule ist $I_L = -\frac{iV}{\omega L}$.

Der Phasenunterschied $\tan\phi$ ist somit der Winkel zwischen I_{ges} und I_L:

$$\tan\phi = \frac{\frac{1}{R}}{-\frac{1}{\omega L}} = -\frac{\omega L}{R}$$

betragsmäßig erhält man ${}^{(\omega L)}/_{R}$.

[2,5]

Aufgabe 7 (6 Punkte)

Eine ebene elektromagnetische Welle mit der Frequenz ω bewege sich in z-Richtung mit der Geschwindigkeit v. Sie ist so zirkular polarisiert, dass das E-Feld zur Zeit $t = 0$ in x-Richtung steht und zur Zeit $t = {}^{\pi}/_{(2\omega)}$ in y-Richtung.

(a) Geben Sie den Wellenvektor $\vec{k}$ an.

(b) Geben Sie die Gleichung für $\vec{E}(x, y, z, t)$ dieser ebenen Welle an.

(c) Wie lautet das B-Feld, $\vec{B}(x, y, z, t)$ dieser ebenen Welle?

(d) Berechnen Sie den Poynting-Vektor $\vec{S}(x, y, z, t)$ dieser ebenen Welle.

(e) Was müsste man machen um aus dieser Welle linear polarisiertes Licht zu machen?

Lösung

(a) $k_x = 0$, $k_y = 0$, $k_z = {}^{\omega}/_{v}$, da $\omega = {}^{v}/_{k}$.

[1]

(b) Es gilt

$$E_x = E_0 \cos(\omega t - k_z z)$$
$$E_y = E_0 \sin(\omega t - k_z z)$$
$$E_z = 0$$

[1]

(c) Hier folgt mit $\vec{B} = ({}^{1}/_{v})\frac{\vec{k}}{|k|} \times \vec{E}$

$$B_x = -\frac{E_0}{v}\sin(\omega t - k_z z)$$
$$B_y = \frac{E_0}{v}\cos(\omega t - k_z z)$$
$$B_z = 0$$

[1,5]

(d) Aus $\vec{S} = \mu_0^{-1}\vec{E} \times \vec{B}$ folgt

$$S_x = 0$$
$$S_y = 0$$
$$S_z = \frac{1}{\mu_0}(E_x E_y - E_y E_x) = \frac{E_0^2}{\mu_0 v}$$

denn $\cos^2 + \sin^2 \equiv 1$.

[1,5]

(e) Das jetzige E-Feld und B-Feld müssten um 90° mehr zueinander phasenverschoben sein $(0°, 180°)$. Diese kann man errreichen durch Überlagerung mit Licht, dass in die andere Richtung polarisiert ist oder durch ein Lambda/4 Plättchen.

[**1**]

Aufgabe 8 (9 Punkte)

Ein Raumschiff bewegt sich mit einer relativistischen Geschwindigkeit v relativ zu einem Intertialsystem Σ, in dem ein naher Stern in Ruhe ist. Der nahe Stern definiert das Inertialsystem Σ. Direkt auf dem Kurs des Raumschiffs befindet sich ein Asteroid, in Ruhe bezüglich des Sterns, wenn der Raumschiffpilot den Kurs nicht ändert. Der Asteroid befindet sich im Abstand d zum Raumschiff (im Ruhesystems des Sterns) zum Zeitpunkt $t = 0$ (im Ruhesystems des Sterns), dem Zeitpunkt, in dem der Pilot den Asteroiden realisiert. Seine eigene Reaktionszeit ist τ.

(a) Der Pilot sieht den Asteroiden in seinem Schweinwerferlicht während er sich mit v darauf zubewegt. Wie schnell bewegt sich das Licht vom Raumschiff aus betrachtet? Wie schnell sieht der Asteroid das Licht?

(b) Zu welcher Zeit t (im Ruhesystems des Sterns) wird das Raumschiff den Asteroiden treffen, wenn der Pilot den Kurs des Schiffs nicht ändert?

(c) Zeichnen Sie ein Raumzeitdiagramm für dieses Szenario. Benutzen Sie dabei ein Koordinatensystem für das Inertialsystem Σ in welchem der Stern in Ruhe ist und Koordinatensystem für Σ', in welchem das Raumschiff in Ruhe ist. (Beide Inertialsysteme haben denselben Ursprung, Zeichnen Sie ein GROßES Diagramm). Markieren Sie das Ereignis A (Pilot realisiert die Gefahr) und das Ereignis B (Raumschiff trifft den Asteroid). Markieren Sie auf beiden Zeit- und Raumachsen die beiden Ereignisse.

(d) Der Pilot könnte sein Raumschiff retten, wenn die Zeit bis zum Einschlag (gemessen in seinem Ruhesystem) größer ist als seine Reaktionszeit τ. Bestimmen Sie den Abstand der Koordinaten. Was ist die Zeit bis zum Einschlag, gemessen in seinem Ruhesystem?

(e) Erklären Sie ihre Ergebnisse aus dem vierten Teil mit dem Effekt der Zeitdilatation.

(f) Erklären Sie ihre Ergebnisse aus dem vierten Aufgabenteil mit dem Effekt der Längenkontraktion.

Lösung

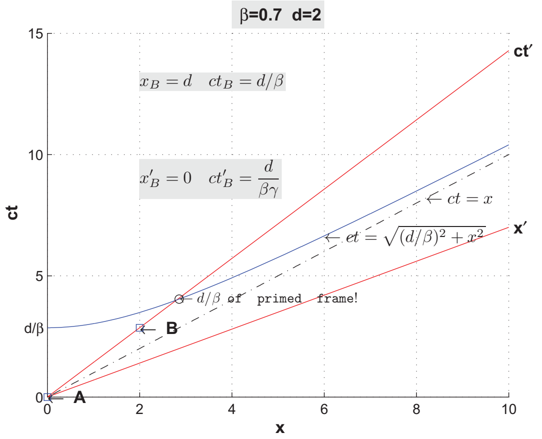
(a) Die Geschwindigkeit von Licht ist unabhängig vom Bezugssystem immer c.

[1]

(b) Zur Zeit $t = {}^{d}/_{v}$.

[1]

(c) Siehe Abbildung (c)



[2,5]

(d) Sei A das Ereignis, dass der Pilot den Asteroiden bemerkt und B das Ereignis, dass die beiden kollidieren. Definiere $\Delta \equiv B - A$. Dann gilt $\Delta x = d$, $\Delta t = {}^{d}/_{v}$ und $\Delta x' = 0 \Rightarrow \Delta t' = \tau$. Des weiteren folgt

$$\tau = \Delta t' = \gamma \left(\Delta t - \beta \Delta \frac{x}{c} \right) = \gamma \left(\frac{d}{v} - \beta \frac{d}{c} \right) = \gamma \frac{d}{v}(1 - \beta^2) = \gamma \frac{d}{v} \frac{1}{\gamma^2} = \frac{d}{v\gamma}$$

Also $\tau = {}^{d}/_{(v\gamma)}$.

[2,5]

(e) Man kann die Formel aus dem letzten Aufgabenteil umformen zu

$$\gamma \tau v = d$$

Die Zeit im gestrichenen System wird dilatiert um den Faktor γ vom ungestrichenen System aus und wir wissen, dass das Schiff sich mit Geschwindigkeit v bewegt, somit ist die Strecke, die zurücklegt wird, die dilatierte Zeit mal v, was in ungestrichenen System d ist.

[1]

(f) Man kann die Formel auch schreiben als

$$v\tau = \frac{d}{\gamma}$$

$$d' = \frac{v}{\tau} = \frac{v\gamma}{\Delta t} = d\gamma$$

Der Asteroid nähert sich mit Geschwindigkeit v, die Distanz ist um den Faktor λ kontrahiert und das Raumschiff bewegt sich über einen Zeitraum von der Länge τ.

[1]