
Klausur zur Experimentalphysik 2

Prof. Dr. M. Rief
Sommersemester 2011
19. August 2011

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 beidseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Bearbeitungszeit 90 Minuten. Auf jedem abgegebenen Blatt muss der Name stehen. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

Aufgabe 1 (4 Punkte)

Zwölf identische Punktladungen $+q > 0$ sind äquidistant auf einem Kreis mit Radius R positioniert (siehe Abbildung 1). Im Mittelpunkt des Kreises befindet sich eine Ladung $+Q > 0$.

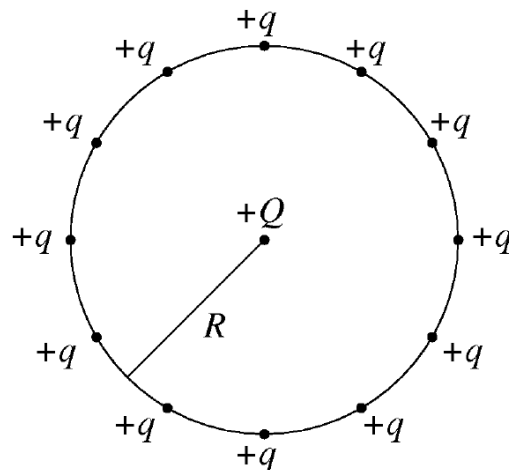


Abbildung 1: Anordnung der Ladungen.

- Bestimmen Sie die Größe und Richtung der Kraft, die auf die Ladung $+Q$ wirkt.
- Nun wird die Punktladung, die sich bei 3 Uhr befindet, entfernt. Geben Sie die Größe und Richtung der Kraft, die auf die Ladung $+Q$ wirkt, an.

Aufgabe 2 (8 Punkte)

Ein Dielektrikum mit relativer Permittivitätszahl ϵ_r wird so in einen Plattenkondensator eingeschoben, dass es einen Teil des Raumes zwischen den Platten ausfüllt (siehe Abbildung 2). Durch Anlegen der Spannung U wird der Kondensator aufgeladen, wobei die Ladung q fließt. Anschließend wird der Kondensator von der Spannungsquelle getrennt.

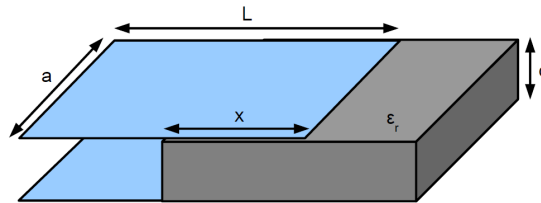


Abbildung 2: Teilweise von einem in grau dargestelltem Dielektrikum ausgefüllter Plattenkondensator (blau).

- Wie groß ist die Potentialdifferenz zwischen den Platten in Abhängigkeit von x ?
- Berechnen Sie die Arbeit, die notwendig ist, um das Dielektrikum voll in den Kondensator einzuschieben.
- Wie groß ist die Polarisationsladung im Dielektrikum, nachdem das Dielektrikum vollständig in den Kondensator hineingeschoben wurde?
- Lösen Sie die Teilaufgaben a), b) und c) für einen Plattenkondensator mit $L = a = 20\text{cm}$ und $d = 2\text{mm}$. Als Dielektrikum werde Teflon ($\epsilon_r = 2$) verwendet. Zu Anfang sei das Dielektrikum halb in den Kondensator eingeschoben. Die Ladung q sei 10^{-7}C . Verwenden Sie für die Dielektrizitätskonstante im Vakuum $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$.

Aufgabe 3 (8 Punkte)

Eine Quelle sendet Teilchen mit der Masse m und Ladung q aus. Durch ein Blendensystem wird ein Teilchenstrahl ausgewählt. Die Masse der Teilchen kann mit Hilfe von parallelen E - und B -Feldern die auf die Länge l beschränkt sind, bestimmt werden. Dazu wird der Teilchenstrahl senkrecht zu den Feldlinien in die Felder geschickt und unmittelbar danach auf einem Film nachgewiesen, der senkrecht zur ursprünglichen Flugrichtung der Teilchen aufgestellt ist (siehe Abbildung 3).

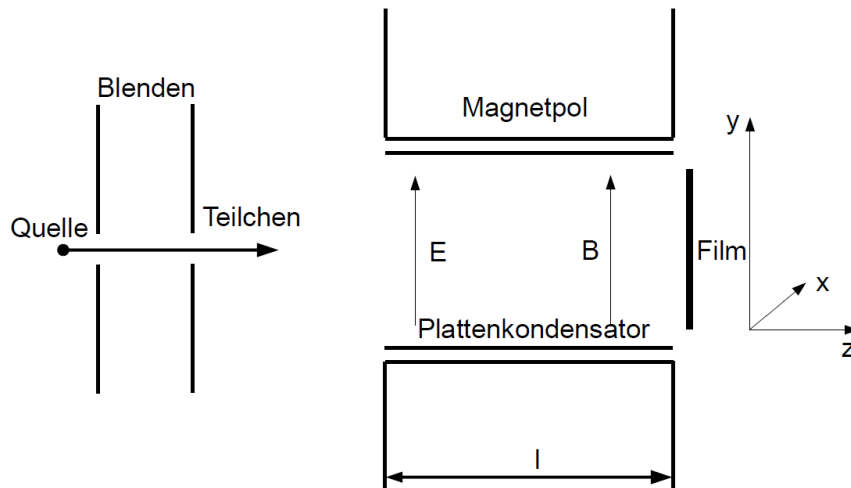


Abbildung 3: Anordnung von elektrischem und magnetischem Feld zur Ablenkung bewegter, geladener Teilchen.

- a) Berechnen Sie die Beschleunigungen, denen die Teilchen der Ladung q und Geschwindigkeit v in x - bzw. y -Richtung unterworfen sind.

Hinweis: Nehmen Sie die wirkenden Beschleunigungen als konstant über die Länge l an!

- b) Auf welcher Kurve in der (x, y) -Filmebene liegen die Auftreffpunkte von Teilchen gleicher Masse und unterschiedlicher Geschwindigkeiten?
- c) Skizzieren Sie qualitativ die Kurven, auf denen Protonen, Antiprotonen und Deuteronen (^2H -Kerne) auf den Film auftreffen. Wie können Sie auf dem Schirm einen hochenergetischen Protonenstrahl von einem niederenergetischen unterscheiden?

Aufgabe 4 (6 Punkte)

Die Feldlinien des Erdmagnetfelds verlaufen außer am Äquator nicht parallel zur Erdoberfläche, sondern dringen – wie in der Vorlesung demonstriert – in den Erdkörper ein.

Dieser sogenannte „Inklinationswinkel“ soll mit Hilfe einer flachen Spule, die eine Fläche $A = 0.01\text{m}^2$ umschließt und $N = 10000$ Windungen besitzt, gemessen werden. Die Spule sei um eine in der Spulenebene liegende Achse drehbar gelagert und rotiert mit einer Drehzahl von $3000\text{U}/\text{min}$.

Zur Messung der Horizontal- und Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes zeigt die Drehachse der Spule einmal horizontal in Ost-West-Richtung und einmal vertikal, also senkrecht zur Erdoberfläche. Bei der horizontalen Stellung der Drehachse beträgt der Maximalwert der induzierten Spannung $U_h = 1.75\text{V}$, bei vertikaler Stellung beträgt er $U_v = 1.5\text{V}$. Gehen Sie davon aus, dass das Magnetfeld keine Komponente in Ost-West-Richtung besitzt.

- Wie groß ist der Betrag B des Erdmagnetfelds?
- Wie groß sind die Vertikalkomponente B_v und die Horizontalkomponente B_h des Erdmagnetfeldes?
- Welchen Inklinationswinkel β zur Erdoberfläche hat das Magnetfeld am Ort der Spule?

Aufgabe 5 (7 Punkte)

Gegeben seien die beiden elektromagnetischen Wellen

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

mit $\omega = |\mathbf{k}_1|c = |\mathbf{k}_2|c$. (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 $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$, die beide in der xy -Ebene liegen sollen. Betrachten Sie nun das Überlagerungsfeld $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$.

- Warum ist mit \mathbf{E}_1 und \mathbf{E}_2 auch \mathbf{E} eine Lösung der Maxwell-Gleichungen?
- Schreiben Sie das Überlagerungsfeld \mathbf{E} in einer Form, aus der seine Gestalt und seine zeitliche Entwicklung besser erkennbar ist.

Hinweis: Verwenden Sie $\cos(\phi_1) + \cos(\phi_2) = 2 \cos\left(\frac{1}{2}(\phi_1 - \phi_2)\right) \cos\left(\frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2)\right)$.

- Es sei nun $\mathbf{k}_1 = k\mathbf{n}_1$ und $\mathbf{k}_2 = k\mathbf{n}_2$ mit

$$\mathbf{n}_1 = (\cos(45^\circ), \sin(45^\circ), 0),$$

$$\mathbf{n}_2 = (\cos(45^\circ), -\sin(45^\circ), 0)$$

$$k = 2\pi/\lambda, \quad \lambda = 1\text{m}.$$

Schreiben Sie das zugehörige \mathbf{E} in der Form b). Zur Zeit $t = 0$ hat \mathbf{E} bei $\mathbf{r} = 0$ ein Maximum. In welche Richtung bewegt sich dieses Maximum? Wohin ist das Maximum nach einer Schwingungsperiode $T = 2\pi/\omega$ gewandert? Vergleichen Sie die Geschwindigkeit, mit der das Maximum gewandert ist, mit der Lichtgeschwindigkeit. Ist das Ergebnis Grund zur Beunruhigung? Begründen Sie Ihre Antwort!

Aufgabe 6 (7 Punkte)

Die Lufttemperatur über einem großen See sei -2°C , während das Wasser im See eine Temperatur von 0° hat. Wie lange dauert es, bis sich im See eine 10cm dicke Eisschicht gebildet hat? Nehmen Sie an, dass hierbei nur die Wärmeleitung ($\lambda_{\text{Eis}} = 2,3\text{W/mK}$) als Wärmetransportmechanismus eine Rolle spielt. Die spezifische Schmelzwärme von Eis beträgt $3,3 \times 10^5\text{J/kg}$ und die Dichte von Eis ist $\rho_{\text{Eis}} = 920\text{kg/m}^3$.

Hinweis: Die Differentialgleichung lässt sich durch Trennung der Variablen lösen.

Aufgabe 7 (9 Punkte)

Betrachten Sie den in der Abbildung 4 dargestellten Kreisprozess. Im T - S -Diagramm stellt er eine Ellipse dar. Die höhere Temperatur T_0 ist 1000°C , die niedrigere Temperatur T_U ist 100°C , die Entropiedifferenz $S_1 - S_0$ beträgt 1.5kJ/K . Der Prozess verläuft vollkommen reversibel.

Hinweis: Die Fläche einer Ellipse ist $ab\pi$, mit a und b als große und kleine Halbachse.

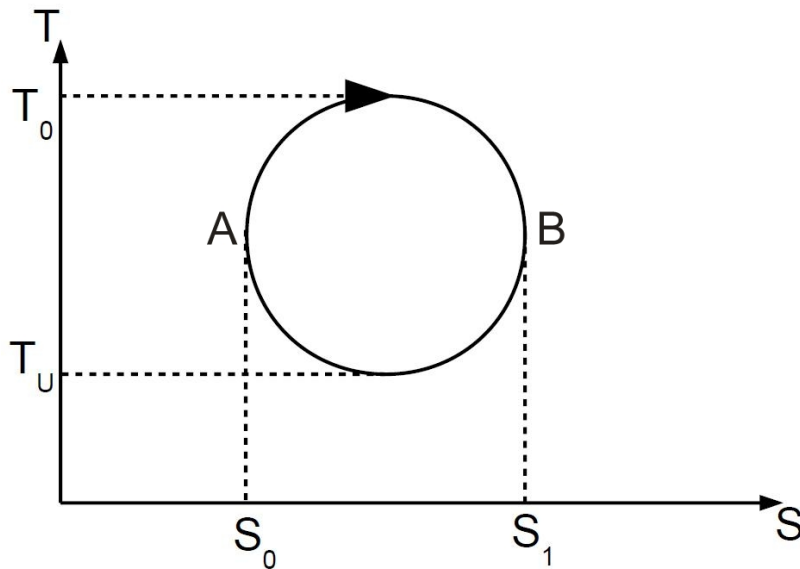


Abbildung 4: T - S -Diagramm eines Kreisprozesses.

- Wie groß ist die Wärmemenge, die beim Übergang von A nach B aufgenommen wird?
- Wie groß ist die pro Umlauf umgesetzte Arbeit? Wird sie dem Kreisprozess zugeführt oder von ihm abgegeben? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Wie groß ist der Wirkungsgrad?
- Welcher Wirkungsgrad ließe sich mit zwei Wärmereservoirs der Temperaturen $T_0 = 1000^\circ\text{C}$ und $T_U = 100^\circ\text{C}$ theoretisch maximal erreichen? Warum erreicht der gegebene Kreisprozess diesen Wirkungsgrad nicht?