Vorbemerkung

Dies ist ein korrigierter Übungszettel aus dem Modul physik211.

Dieser Übungszettel wurde von einem Tutor korrigiert. *Dies bedeutet jedoch nicht, dass es sich um eine Musterlösung handelt. Weder ich, noch der Tutor implizieren, dass dieses Dokument keine Fehler enthält.*

Alle Übungszettel zu diesem Modul können auf http://martin-ueding.de/de/university/bsc_physics/physik211/ gefunden werden.

[disclaimer]

physik210 Übung 5

Gruppe 2
Tutor: Tobias Guttenberger

Martin Ueding
mu@uni-bonn.de

Christoph Hansen

8. Mai 2012

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	Σ
Punkte	2,5 / 4	4 / 4	~~4~~ 3 / ~~5~~ 4	5,5 / 6	2 / 3	6 / 6	22 / 28

Danke :)

1 Feldlinienverlauf

Der Verlauf der Feldlinien ist in Abbildung 1 gezeigt.

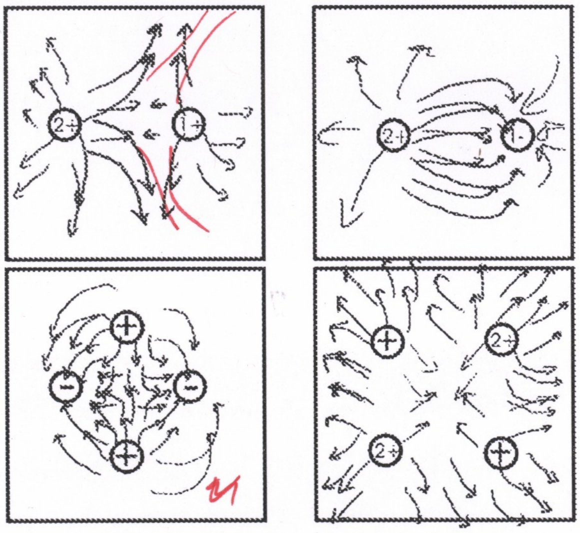

Abbildung 1: Feldlinien

2,5
ich kann leider die linien kaum Erkennen

1a Äquipotenzlinien

In den Abbildungen 2, 3, 4 und 5 sind die Äquipotenzlinien der Konfigurationen dargestellt. Die Feldlinien verlaufen immer senkrecht zu den Äquipotenzlinien. Die in Abbildung 1 gezeichneten Feldlinien passen recht gut.

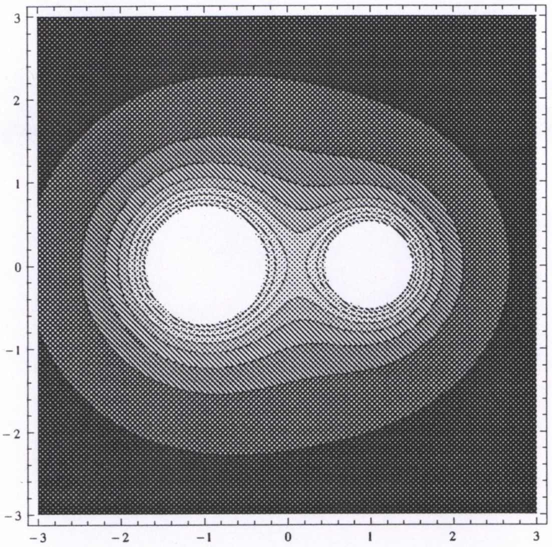

Abbildung 2: erste Konfiguration

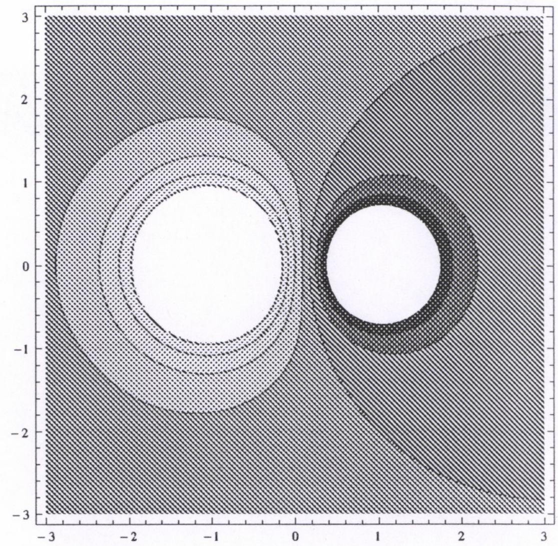

Abbildung 3: zweite Konfiguration

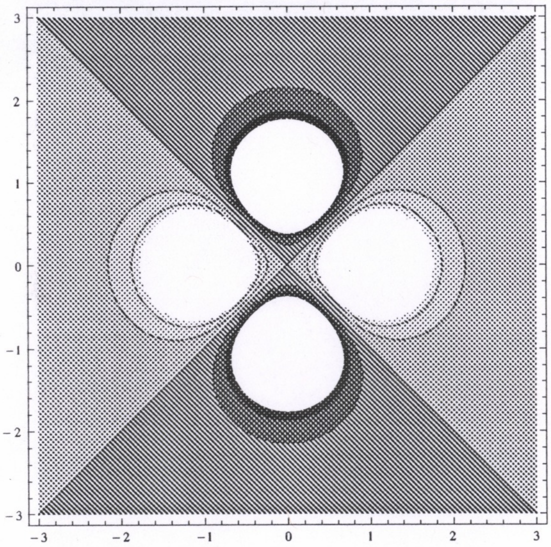

Abbildung 4: dritte Konfiguration

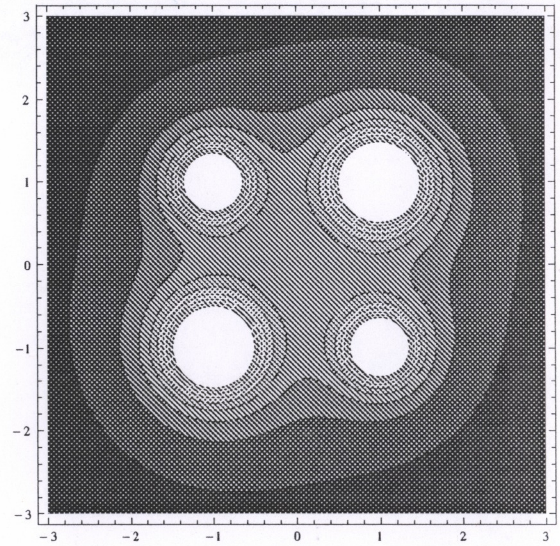

Abbildung 5: vierte Konfiguration

2 Kugelschale

2a Ladung in der Schale

Wir betrachten zuerst nur die Ladung in der Kugelschale.

Der Satz von Gauß besagt folgendes:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Oder alternativ nach Anwendung des Integralsatzes von Gauß:

$$\oiint_{\partial V} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \iiint_V \vec{\nabla} \cdot \vec{E} \, \mathrm{d}V = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Die Raumladungsdichte ist gegeben als:

$$\rho = \frac{\sigma_0}{r}$$

Dies setzen wir in das Integral ein und erhalten:

$$\oiint_{\partial V} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \iiint_V \frac{\sigma_0}{\epsilon_0 r} \, \mathrm{d}V$$

Dabei wählen wir V so, dass es eine Kugelschale von a bis $R \leq b$ ist. Somit wird das Volumenintegral konkret:

$$\Phi(R) := \oiint_{\partial V} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{A} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin(\theta) \int_a^R \frac{\sigma_0}{\epsilon_0 r} r^2 \, \mathrm{d}r \, \mathrm{d}\theta \, \mathrm{d}\phi$$

Wir führen das Integral aus und erhalten:

$$\Phi(R) := 4\pi R^2 E = \left(R^2 - a^2\right) \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}$$

Die formen wir nach dem elektrischen Feld um.

$$E = \left(1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2\right) \frac{\sigma_0}{4\epsilon_0}$$

2b Ladung in der Mitte

Das elektrische Feld einer Punktladung ist schlicht:

$$E' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}$$

2c Homogenität

Ein Feld ist genau dann Homogen, wenn seine Stärke nicht vom Ort abhängt. Dies bedeutet, dass seine Divergenz null sein muss.

Zuerst bilden wir die Superposition der beiden Felder:

$$E'' = \frac{1}{4\epsilon_0} \left(\left(1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2\right) \sigma_0 + \frac{q}{\pi R^2} \right)$$

Anschließend bilden wir die Ableitung nach R um die Divergenz in Richtung von R zu bestimmen:

$$\frac{\partial E''}{\partial R} = \frac{1}{4\epsilon_0} \left(2\frac{a^2 \sigma_0}{R^3} - 2\frac{q}{\pi R^3} \right)$$

Die Klammer muss gerade null ergeben für alle R, somit muss gelten:

$$2\frac{a^2 \sigma_0}{R^3} - 2\frac{q}{\pi R^3} = 0$$

Daraus folgt:

$$\sigma_0 = \frac{q}{\pi a^2}$$

✓ 4 Sichthore

Dies ist genau der Wert für die Konstante σ_0, damit ein homogenes Feld innerhalb der Kugelschale herrscht.

3 Dipol

Die Arbeit im elektrischen Feld ist gegeben durch:

$$W = qEd$$

3

Das Dipolmoment war definiert als:

$$p = ql$$

Wir formen das Dipolmoment um und setzen in die Arbeit ein:

$$W = pE\sin(\alpha)$$

Dabei ist α der Winkel, unter dem der Dipol in dem elektrischen Feld liegt.

Für $\alpha = \pm\frac{1}{2}\pi$ wird gerade keine Arbeit geleistet, wenn man den Dipol um eine halbe Umdrehung dreht. Für $\alpha = \pi$ erhält man Energie aus dem Dipol.

wann wird Arbeit verrichtet?

4 Hohlkugel

4a Ladung im Inneren

Die Ladungsverteilung im inneren der Kugel ist in Abbildung 6 gezeigt. Dabei ist die komplette Innenseite der Kugel negativ geladen und die komplette Außenseite positiv. Dies liegt daran, dass innerhalb eines Leiters kein Feld herrschen kann.[1] Das radiale Feld der Punktladung in der Mitte wird durch die Ladungen auf den Oberflächen ausgeglichen. Nahe an der Punktladung ist die Ladungsdichte stärker, da dort auch das radiale Feld stärker ist.

Die Oberfläche der Kugel ist allerdings homogen geladen, da innerhalb des Leiters kein Feld herrscht. Somit sind die positiven Ladungen außen nicht durch ein Feld beeinflusst und verteilen sich homogen.

In der Skizze haben wir nur die größten Ladungsvorkommen angedeutet. Die Feldlinien sind eigentlich im ganzen Raum verteilt, die eingezeichneten zeigen die stärksten Felder.

4b Verschiebung

Wenn die Ladung im Inneren verschoben wird, muss sich die Ladung innerhalb ändern. Außen bleibt die Ladung allerdings homogen.

4c im Kontakt

Die Konfiguration für die Ladung im Kontakt mit der inneren Kugelschale ist in Abbildung 7 gezeigt. Da, wo die positive Punktladung auf die Kugelinnenfläche stößt, wird eine negative Ladung diese genau ausgleichen. Ansonsten wird die Innenseite der Kugel neutral sein. Außen wird sich die Ausgleichsladung wieder homogen verteilen.

[1] Falls doch eins herrschen würde, würde ein Strom fließen, sodass es ausgeglichen ist.

5) ? 5,5

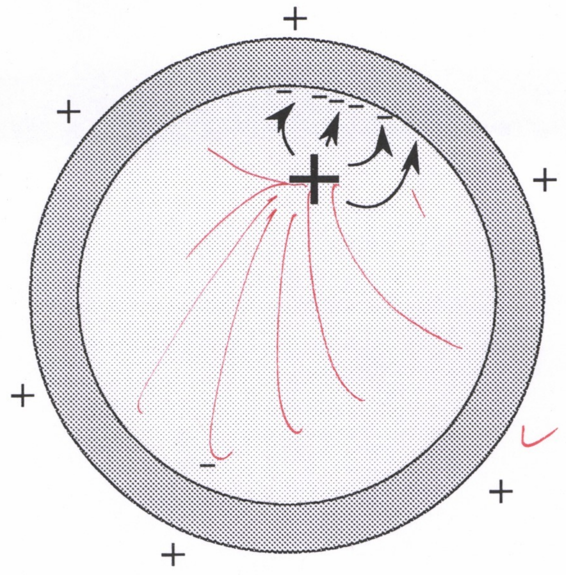

Abbildung 6: Ladung im Inneren

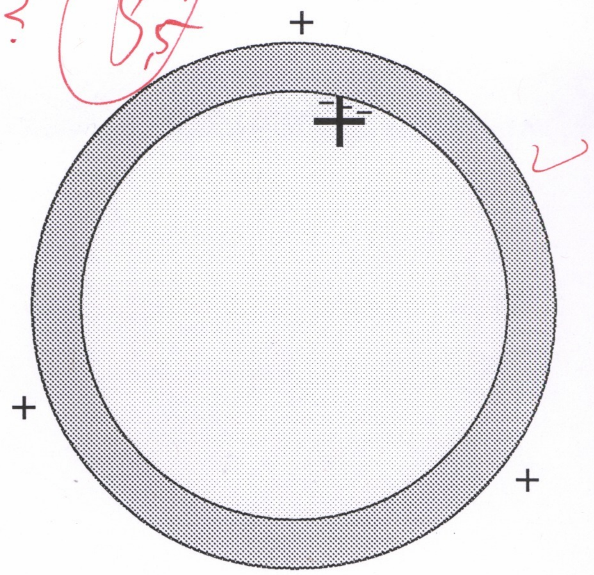

Abbildung 7: Ladung im Kontakt

5 Plattenkondensator

Der Kondensator wird aufgeladen mit einer Ladung $Q = CU$. Diese Ladung behält der Kondensator, da er von der Spannungsquelle getrennt worden ist. Die Kapazität des Kondensators hängt vom Abstand ab:

$$Cd \propto 1$$

Der Abstand wurde vergrößert, also wurde die Kapazität verkleinert. Bei gleicher Ladung bleibt die zehnfache Spannung. $\Rightarrow U, = ?$ 2

6 Kapazitätsnetzwerk

6a Gesamtkapazitäten

In den seriellen Teilen werden die Kapazitäten invers addiert. In den parallelen Teilen werden die Kapazitäten normal addiert.

6a.1 $A \to B$

Im positiven Drehsinn ist $C_a = C_1$. Im negativen Drehsinn ist $C_b^{-1} = C_4^{-1} + C_3^{-1} + C_2^{-1}$. Zusammen also $C = C_a + C_b = 1.6731\,\mu\text{F}$.

6a.2 $A \to C$

Im positiven Drehsinn ist $C_a^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1}$. Im negativen Drehsinn ist $C_b^{-1} = C_4^{-1} + C_3^{-1}$. Zusammen also $C = C_a + C_b = 2.0714\,\mu\text{F}$.

6a.3 $A \to D$

Im positiven Drehsinn ist $C_a^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1} + C_3^{-1}$. Im negativen Drehsinn ist $C_b^{-1} = C_4^{-1}$. Zusammen also $C = C_a + C_b = 2.9000\,\mu\text{F}$.

6a.4 $B \to C$

Im positiven Drehsinn ist $C_a^{-1} = C_2^{-1}$. Im negativen Drehsinn ist $C_b^{-1} = C_1^{-1} + C_4^{-1} + C_3^{-1}$. Zusammen also $C = C_a + C_b = 2.9000\,\mu\text{F}$.

6a.5 $B \to D$

Im positiven Drehsinn ist $C_a^{-1} = C_2^{-1} + C_3^{-1}$. Im negativen Drehsinn ist $C_b^{-1} = C_1^{-1} + C_4^{-1} + C_3^{-1}$. Zusammen also $C = C_a + C_b = 2.0714\,\mu\text{F}$.

6a.6 $C \to D$

Im positiven Drehsinn ist $C_a^{-1} = C_3^{-1}$. Im negativen Drehsinn ist $C_b^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1} + C_4^{-1} + C_3^{-1}$. Zusammen also $C = C_a + C_b = 4.4615\,\mu\text{F}$.

6a.7 Zusammenfassung

	B	C	D
A	$1.6731\,\mu\text{F}$	$2.0714\,\mu\text{F}$	$2.9000\,\mu\text{F}$
B		$2.9000\,\mu\text{F}$	$2.0714\,\mu\text{F}$
C			$4.4615\,\mu\text{F}$

Rech oder Rundungsfehler

1,5

6b Spannung

Die Spannung $U = 20\,\text{V}$ zwischen A und C begegnet einer Kapazität von $C = 2.0714\,\mu\text{F}$. Die Ladung im kompletten System ist somit also $Q = CU = 41.428\,\mu\text{C}$.

Die Kapazität der einen Hälfte ist:

$$C_a = \left(C_1^{-1} + C_2^{-1}\right)^{-1} = 0.57143\,\mu\text{F}$$

Und der anderen Häfte:

$$C_b = \left(C_3^{-1} + C_4^{-1}\right)^{-1} = 1.5\,\mu\text{F}$$

Die Ladung, die auf den Konsensatoren C_1 und C_2 ist, ist gerade gleich groß. Diese Ladung ist:

$$C_a U = Q_1 = Q_2 = 11.429\,\mu\text{C}$$

Und auf den anderen beiden:

$$C_b U = Q_3 = Q_4 = 30\,\mu\text{C}$$

Die Spannung, die über jeden Kondensator abfällt ergibt sich aus der Ladung und dessen Kapazität:

$$\frac{Q_1}{C_1} = U_1 = 15.238\,\text{V}$$

Und über dem anderen ersten Kondensator:

$$\frac{Q_3}{C_2} = U_2 = 7.5\,\text{V}$$

Dies sind die Spannungen zwischen $A \to B$ und $A \to D$. Von B aus gemessen ist es jeweils der Rest der $20\,\text{V}$. Zwischen B und D misst man die Differenz der beiden Spannungen, also etwas mehr als $7.5\,\text{V}$.