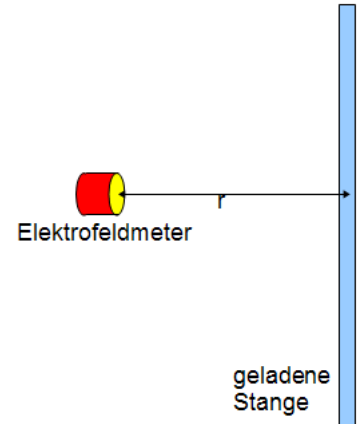


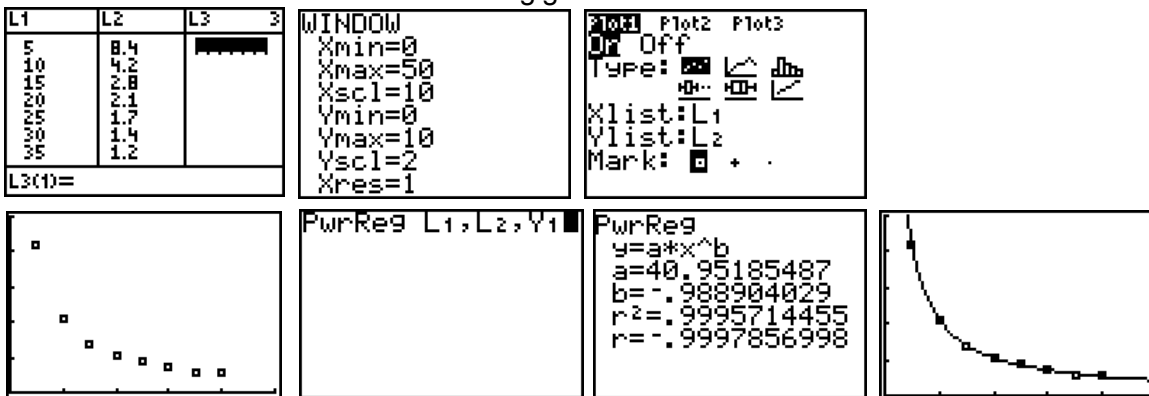
Lösung

- 1 Eine 1 m lange gerade Stange wird senkrecht zum Erdboden aufgestellt und mit der Ladung  $Q=23,5 \text{ nC}$  aufgeladen. Von der Mitte der Stange aus waagrecht zum Erdboden wird mit einem Elektrofildmeter in verschiedenen Abständen  $r$  zur Stange die elektrische Feldstärke bestimmt.

r in cm	5	10	15	20	25	30	35	40
E in kV/m	8,4	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,1



- 1.1 Werten Sie mit Hilfe des Taschenrechners die Wertetabelle aus, indem Sie mit der Regression PwrReg den Funktionsterm für E in Abhängigkeit von r bestimmen.



Es ergibt sich die Funktionsgleichung  $E=41 \cdot r^{-1} = \frac{41}{r}$  und als Graph eine Hyperbel.

- 1.2 Wie verlaufen die Feldlinien  
 a) im elektrischen Feld zwischen 2 parallelen Kondensatorplatten,

Die Feldlinien verlaufen parallel.

- b) im elektrischen Feld einer geladenen Kugel,

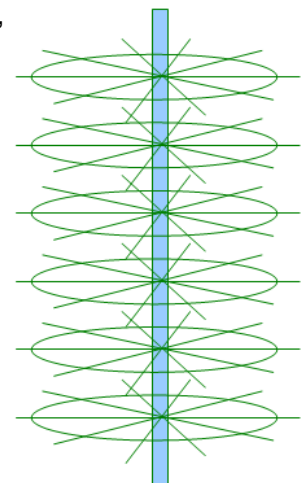
Die Feldlinien verlaufen vom Mittelpunkt der Kugel ausgehend auf Geraden in alle Richtungen.

In jeder Richtung entfernen sich die Feldlinien voneinander bei zunehmendem Abstand von der Kugel.

- c) im elektrischen Feld einer geladenen Stange?

Alle Feldlinien verlaufen senkrecht zur Stange.

Daraus folgt: In einer Ebene, die senkrecht zur Stange steht, verlaufen die Feldlinien sternförmig auseinander. Betrachtet man die Feldlinien, die entlang der Stange in die gleiche Richtung verlaufen, so sind diese parallel zueinander.



- 1.3 Im Unterricht haben wir das Coulomb-Gesetz für das elektrische Feld einer geladenen Kugel hergeleitet.

Stellen Sie analog eine Gleichung für das elektrische Feld einer geladenen Stange auf. Vergleichen Sie mit dem Ergebnis aus 1.1.

Im Unterricht haben wir eine größere Kugel um die kleinere Kugel gelegt und gezeigt, dass durch Influenz gleich viel Ladungen auf beiden Kugeln vorhanden sind. Die Flächenladungsdichte und

damit auch die elektrische Feldstärke sind bei der Kugel proportional zu  $1/r^2$ .

Bei der Stange haben wir als Einhüllende die Mantelfläche eines Zylinders. Formel:  $M=2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$ .

Es folgt für die Flächenladungsdicht:  $\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot L}$

und damit für die elektrische Feldstärke:  $E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sigma = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot L} \cdot \frac{Q}{r}$ .

Wie in der Lösung zu Aufgabe 1.1 gefunden, gilt hier die Beziehung  $E \sim \frac{1}{r}$ .

---

2 Begründen Sie,

a) warum Feldlinien immer senkrecht aus elektrischen Leitern austreten und

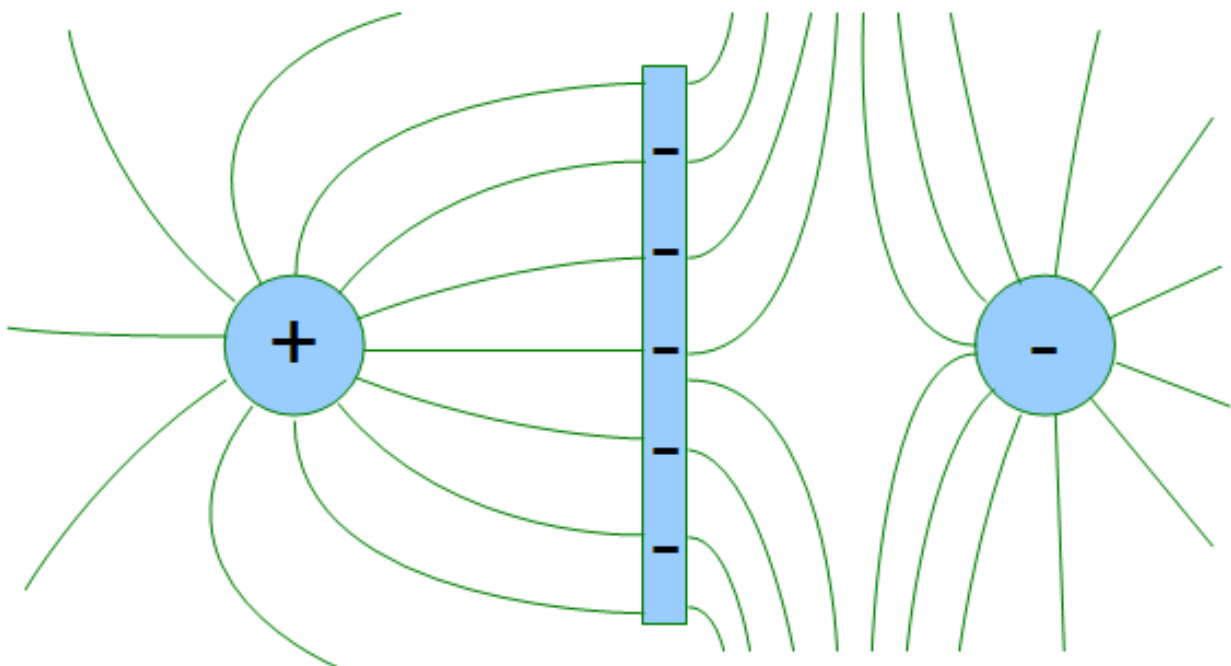
*Würden die Feldlinien schräg austreten, würden sie die die Feldlinien erzeugenden Ladungsträger im Leiter so weit zur Seite ziehen, bis die Ladungsträger senkrecht zur Leiteroberfläche gezogen würden, d.h. dass dann die Feldlinien senkrecht zur Leiteroberfläche stehen.*

b) warum Feldlinien sich nicht schneiden können.

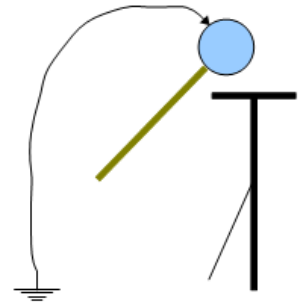
*Elektrische Feldlinien geben den Weg an, auf dem sich eine freie positive Ladung im elektrischen Feld bewegen würde. Da die Richtung auf Grund der herrschenden Kräfte immer eindeutig vorgegeben ist, kann es keinen Kreuzungspunkt von Feldlinien geben, an denen die Ladung die Möglichkeit hätte, sich für einen der Wege zu entscheiden.*

---

3 Zeichnen Sie das Feldlinienbild des elektrischen Feldes, das sich durch zwei entgegengesetzt geladene Kugeln und eine geladene Platte aufbaut.



- 4 Ein Elektroskop ist mit positiver Ladung aufgeladen (etwa halbe Zeigerauslenkung). Eine elektrisch neutrale Kugel wird in die Nähe des Elektroskops gehalten. Sie berührt aber nicht das Elektroskop. Die dem Elektroskop abgewandte Seite der Kugel wird geerdet (siehe Zeichnung). Dann wird das Erdungskabel entfernt und danach wird die Kugel aus der Nähe des Elektroskops bewegt.



- 4.1 Die anfangs neutrale Kugel wird auf Ladung untersucht. Ist die Kugel nun geladen (positiv oder negativ) oder weiter neutral? Antwort mit Begründung.

*Da das Elektroskop positiv geladen ist, werden die auf der neutralen Kugel befindlichen Ladungen durch Influenz getrennt, so dass negative Ladungen auf der dem Elektroskop zugewandten Seite und positive Ladungen auf der dem Elektroskop abgewandten Seite sind. Diese positiven Ladungen werden durch das Erdungskabel von der Kugel entfernt, so dass die Kugel insgesamt negativ geladen ist und auch negativ geladen bleibt, wenn man die Kugel vom Elektroskop entfernt.*

- 4.2 Hat sich am Ladungszustand des Elektroskops etwas geändert (weitere, geringere oder gleiche Auslenkung)? Antwort mit Begründung.

*Bei Annäherung der neutralen Kugel wird sich durch Influenz die Auslenkung verkleinert haben, da positive Ladungen zur Kugel gezogen werden. Nach Entfernen der Kugel wird aber der ursprüngliche Zustand des Elektroskops wieder hergestellt, da keine Ladungen das Elektroskop verlassen haben und auch keine Ladungen neu dazu gekommen sind.*

- 5 Die Platten eines Plattenkondensators haben jede eine Fläche von  $1000 \text{ cm}^2$ . An die Platten wird während des gesamten Versuchs eine Spannung angelegt, die dazu führt, dass sich auf jeder Platte die Ladung  $Q=1 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  befindet. Ein Plättchen der Fläche  $100 \text{ cm}^2$  wird mit seiner gesamten Fläche an eine Platte gehalten und dann parallel zu den Platten zwischen den Platten aufgehängt. Berechnen Sie die Kraft, die auf das Plättchen wirkt.

*Durch Berühren des Plättchens mit den Platten treten Ladungen auf das Plättchen über. Auf Grund der Flächenladungsdichte werden das so viele Ladungen sein, wie der Fläche des Plättchens entspricht. Da die großen Platten 10-mal so groß sind wie das Plättchen, ist die Ladung  $Q_{\text{groß}}$  auf den großen Platten auch 10-mal so groß wie die Ladung  $Q_{\text{klein}}$  auf dem Plättchen. Also gilt  $Q_{\text{klein}} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ .*

*Die elektrische Feldstärke  $E$  zwischen den großen Platten berechnet sich mit Hilfe der*

*Flächenladungsdichte:* 
$$E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \sigma = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{0,1 \text{ m}^2} .$$

*Wegen  $E = \frac{F}{Q_{\text{klein}}}$  gilt für die Kraft auf das kleine Plättchen:*

$$F = E \cdot Q_{\text{klein}} = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-7}}{0,1 \text{ m}^2} \cdot 1 \cdot 10^{-8} \text{ C}^2 \approx 0,0011 \text{ N} = 1,1 \text{ mN}$$

- 6 In einem Rohr, dessen nicht leitendes Material ein elektrisches Feld nicht beeinflusst, befindet sich unten eine Kugel, die negativ mit  $Q = -6 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  aufgeladen ist. Von oben wird in das Rohr eine gleichartige Kugel fallen gelassen, die ebenfalls mit negativer Ladung von  $Q = -6 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  aufgeladen ist. Berechnen Sie, in welcher Höhe die obere Kugel (Masse 2 g) nach dem Ausschwingen schweben bleibt (Abstand zwischen den Kugelmittelpunkten berechnen).

Die Wechselwirkung zwischen geladenen Kugeln lässt sich durch das Coulombfeld

bestimmen:  $E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$  bzw.  $F_E = E \cdot Q_{\text{mess}} \rightarrow F_E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_{\text{Feld}} \cdot Q_{\text{mess}}}{r^2}$ .

Die Kraft  $F_E$  im elektrischen Feld muss genau so groß sein wie die Gewichtskraft  $F_G$  der oberen

Kugel:  $m \cdot g = F_G = F_E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_{\text{Feld}} \cdot Q_{\text{mess}}}{r^2}$ .

Gesucht ist  $r$ , also  $r = \sqrt{\frac{Q_{\text{Feld}} \cdot Q_{\text{mess}}}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot g}} = \sqrt{\frac{(-6 \cdot 10^{-8})^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81}} m \approx 0,04 m = 4 \text{ cm}$ .

Die obere Kugel schwebt also so über der unteren Kugel, dass die Mittelpunkte einen Abstand von etwa 4 cm haben.

- 7 Zwischen den Platten eines Plattenkondensators, dessen Platten im Abstand  $d = 30 \text{ cm}$  angeordnet sind, hängt an einem 2 m langen Faden eine Kugel der Masse 2,5 g. Die Kugel ist mit der Ladung  $1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$  geladen.

An die Platten wird die Spannung  $U$  angelegt, wodurch die geladene Kugel um 5 cm zur einen Seite ausgelenkt wird.

Berechnen Sie den Wert der Spannung  $U$ .

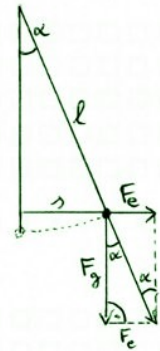
Aus der nebenstehenden Skizze<sup>1</sup> lassen sich folgende Beziehungen ablesen:

$$\tan \alpha = \frac{F_e}{F_g}; \quad \sin \alpha = \frac{s}{L}; \quad \text{wegen } \alpha < 10^\circ \text{ gilt } \tan \alpha \approx \sin \alpha \rightarrow \frac{F_e}{F_g} = \frac{s}{L}$$

Im homogenen Feld gilt  $E = \frac{U}{d}$ , also  $\frac{s}{L} = \frac{F_e}{F_g} = \frac{Q \cdot E}{m \cdot g} = \frac{Q \cdot U}{m \cdot g \cdot d}$ .

Aufgelöst nach  $U$  ergibt sich  $U = \frac{s \cdot m \cdot g \cdot d}{L \cdot Q} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 0,3}{2 \cdot 10^{-8}} \text{ V} = 18394 \text{ V} \approx 18000 \text{ V}$

Am Plattenkondensator liegt also eine Spannung von etwa 18000 V an.



Formeln und Konstanten:  $\text{Oberfläche}_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$   $\text{Mantelfläche}_{\text{Zylinder}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$

$$W = F \cdot s \quad \sigma = \frac{Q}{A} = \epsilon_0 \cdot E \quad E = \frac{U}{d} \quad E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad F = m \cdot g \quad E = \frac{F}{Q} \quad U = \frac{W}{Q}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}} \quad e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Viel Erfolg bei der Bearbeitung der Aufgaben!

<sup>1</sup> siehe 2009-08-19 auf <http://gfs.khmeyberg.de/0910/0910Kurs12Ph3g/0910UnterrichtPhysik12PH3gFelder.html>