Schriftliche Abiturprüfung 2007
Physik 13 k
(Grundkursniveau)

Thema G1: Elektrische Felder

1 Grundlagen

Beschreiben Sie die Grundlagen zeitlich veränderlicher elektrischer Felder. Gehen Sie bei Ihrer Darstellung insbesondere auf die Erzeugung, die Feldformen, den Nachweis und die Beschreibung ein.

2 Bewegung im homogenen Feld

Die Platten eines Plattenkondensators (Bild 1) sind vertikal angeordnet und haben einen Abstand von d = 6,0 cm. Am Kondensator liegt eine Spannung von U_K = 1200 V an. Der Punkt P_1 befindet sich auf der positiven Platte. Ein Probekörper der Masse $m = 1,0 \cdot 10^{-5}\,\text{kg}$ und der Ladung q = + 8,0 nC soll im Punkt P_1 aus der Ruhe losgelassen werden. Wegen der geringen Ausdehnung soll der Probekörper als punktförmig betrachtet werden. Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum.

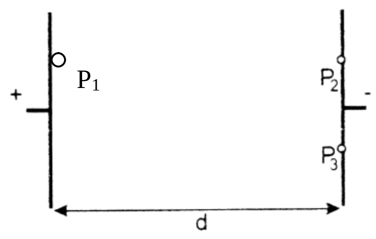


Bild 1

2.1 Weisen Sie nach, dass der Probekörper im Punkt P_2 mit der Geschwindigkeit $v = 1,39\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ auf die negative Platte auftrifft, wenn seine Gewichtskraft vernachlässigt wird.
Bestimmen Sie die dabei am der Probeladung verrichtete Beschleunigungsarbeit.

2.2 Wegen der Gewichtskraft auf den Probekörper trifft dieser in der Realität im Punkt P_3 auf die negative Platte. Berechnen Sie die Länge der Strecke $\overline{P_2P_3}$.
Entscheiden und begründen Sie, ob die Vernachlässigung der Gewichtskraft in Aufgabe 2.1 angemessen ist.

2.3 In einem veränderten Experiment werden nun im Punkt P_1 Elektronen mit vernachlässigbar kleiner Anfangsgeschwindigkeit freigesetzt und im Feld beschleunigt. Die am Kondensator anliegende Spannung U_K ist dabei nahezu stufenlos bis $10^6\,\text{V}$ regelbar. Die maximale Kondensatorspannung von 10^6 V zwingt zur relativistischen Herangehensweise bei den Berechnungen.
Leiten Sie die Gleichung $m(U_k) = \frac{e}{c^2} \cdot U_k + m_0$ zur Berechnung der dynamischen Masse in Abhängigkeit von der angelegten Kondensatorspannung her.
Stellen Sie die Masse m in Abhängigkeit von der anliegenden Kondensatorspannung U_k in einem $m(U_k)$-Diagramm für $0 \leq U_k \leq 10^6\,\text{V}$ grafisch dar.

3. Radialfeld

Eine kugelförmige positive Ladung Q erzeugt ein radiales elektrisches Feld, in welchem sich eine ebenfalls positive Probeladung q im Abstand r von Q befindet (Bild 2). Dabei seien die Ladungen $Q = +4\,\mu\text{C}$ und $q = +2\,\text{nC}$ gegeben.

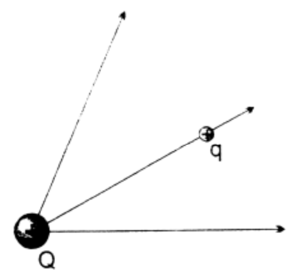


Bild 2

3.1 Stellen Sie die elektrische Feldkraft F_C in Abhängigkeit vom Abstand r im $F(r)$ – Diagramm für das Intervall $1,0\,\text{cm} \leq r \leq 10\,\text{cm}$ grafisch dar.

3.2 Beschreiben Sie, wie man aus dem Diagramm die bei der Verschiebung von r_1 =1,0 cm auf r_2 =10 cm verrichtete Arbeit näherungsweise bestimmen kann.

Lösungen:

1.

kommt noch!

2.1

<u>Berechnen von v:</u>

$$E_{kin} = E_{el}$$

$$\frac{m}{2} \cdot v = q \cdot U_k$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U_k}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^{-9}\,A\,s \cdot 1{,}2 \cdot 10^{3}\,V}{10^{-5}\,kg}} = 1{,}386\,m \cdot s^{-1} = \underline{1{,}38\,m \cdot s^{-1}}$$

$$v = \sqrt{\frac{A\,s \cdot V \cdot \cancel{cm}}{kg \cdot \cancel{cm}}} = \sqrt{\frac{J}{kg}} = \sqrt{\frac{\cancel{kg} \cdot m^2 \cdot s^{-2}}{\cancel{kg}}} = m \cdot s^{-1}$$

oder:

$$s_2 = \frac{a}{2} \cdot t^2 + \underbrace{v_0 \cdot t + s_0}_{=0} \qquad v = a \cdot t + \underbrace{s_0}_{=o} \Rightarrow t = \frac{v_2}{a}$$

$$s = \frac{a}{2} \cdot \frac{{v_2}^2}{a^2} = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \qquad \text{mit} \qquad F_B = F_{el}$$

$$m \cdot a = E \cdot q \qquad \text{mit} \quad E = \frac{U}{d}$$

$$a = \frac{U \cdot q}{m \cdot d}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot q \cdot s}{m \cdot d}} \qquad \text{mit} \quad s = d$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot U \cdot q}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^{-9}\,A\,s \cdot 1{,}2 \cdot 10^{3}\,V}{10^{-5}\,kg}} = \underline{1{,}39\,m \cdot s^{-1}}$$

$$v = \sqrt{\frac{A\,s \cdot V \cdot \cancel{cm}}{kg \cdot \cancel{cm}}} = \sqrt{\frac{J}{kg}} = \sqrt{\frac{\cancel{kg} \cdot m^2 \cdot s^{-2}}{\cancel{kg}}} = m \cdot s^{-1}$$

<u>Beschleunigungsarbeit:</u>

$$W_B = m \cdot a \cdot s \qquad \text{mit} \quad a = \frac{U \cdot q}{m \cdot d}$$

$$W_B = m \cdot \frac{U \cdot q}{m \cdot d} \cdot s = \frac{U \cdot q \cdot s}{d} \qquad \text{mit} \quad s = d$$

$$W_B = U \cdot q = 1{,}2 \cdot 10^{3}\,V \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-9}\,A\,s = \underline{9{,}6 \cdot 10^{-6}\,J}$$

2.2

<u>Länge der Strecke $\overline{P_2P_3}$:</u>

freier Fall in y-Richtung: $\Delta h = \overline{P_2P_3}$

$\Delta h = \frac{g}{2} \cdot {t_B}^2$ mit $t_B = \frac{v}{a}$ und $a = \frac{U \cdot q}{m \cdot d}$

$t_B = \frac{v \cdot m \cdot d}{U \cdot q}$

$\Delta h = \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2 \cdot m^2 \cdot d^2}{U^2 \cdot q^2}$ mit $v^2 = \frac{2 \cdot U \cdot q}{m}$

$\Delta h = \frac{g}{2} \cdot \frac{2 \cdot U \cdot q \cdot m^2 \cdot d^2}{U^2 \cdot q^2 \cdot m} = \frac{g \cdot m \cdot d^2}{U \cdot q}$

$\Delta h = \frac{9{,}81\,\mathrm{m \cdot s^{-2}} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{kg} \cdot 0{,}06^2\,\mathrm{m}^2}{1{,}2 \cdot 10^3\,\mathrm{V} \cdot 8 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{As}} = 0{,}0368\,\mathrm{m} = \underline{3{,}7\,\mathrm{cm}}$

$\Delta h = \frac{\mathrm{m \cdot s^{-2} \cdot kg \cdot m^2}}{\mathrm{V \cdot As}} = \frac{\mathrm{m^2 \cdot s^{-2} \cdot kg \cdot m}}{\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}} = \mathrm{m}$

Wenn einzeln berechnet:

$t_B = \frac{v_2}{a}$ mit $a = \frac{U \cdot q}{m \cdot d}$

$t_B = \frac{v_2 \cdot m \cdot d}{U \cdot q}$

$t_B = \frac{1{,}386\,\mathrm{m \cdot s^{-1}} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{kg} \cdot 0{,}06\,\mathrm{m}}{1{,}2 \cdot 10^3\,\mathrm{V} \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{A\,s}} = 8{,}66 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{s}$

$\Delta h = \frac{g}{2} \cdot {t_B}^2$

$\Delta h = \frac{9{,}81\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}}{2} \cdot \left(8{,}66 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{s}\right)^2 = 3{,}68\,\mathrm{cm} = \underline{3{,}7\,\mathrm{cm}}$

<u>Entscheidung:</u>

Gewichtskraft darf nicht vernachlässigt werden, da die Ladung bei 5 cm horizontaler Bewegung um 3,7 cm fällt, also mehr als die Hälfte der Kondensatorhöhe.

2.3

$E_{kin} = E - E_0$

$E_{kin} = m \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2$

$e \cdot U_k = m \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2$

$m \cdot c^2 = m_0 \cdot c^2 + e \cdot U_k$

$m = m_0 + \frac{e \cdot U_k}{c^2}$

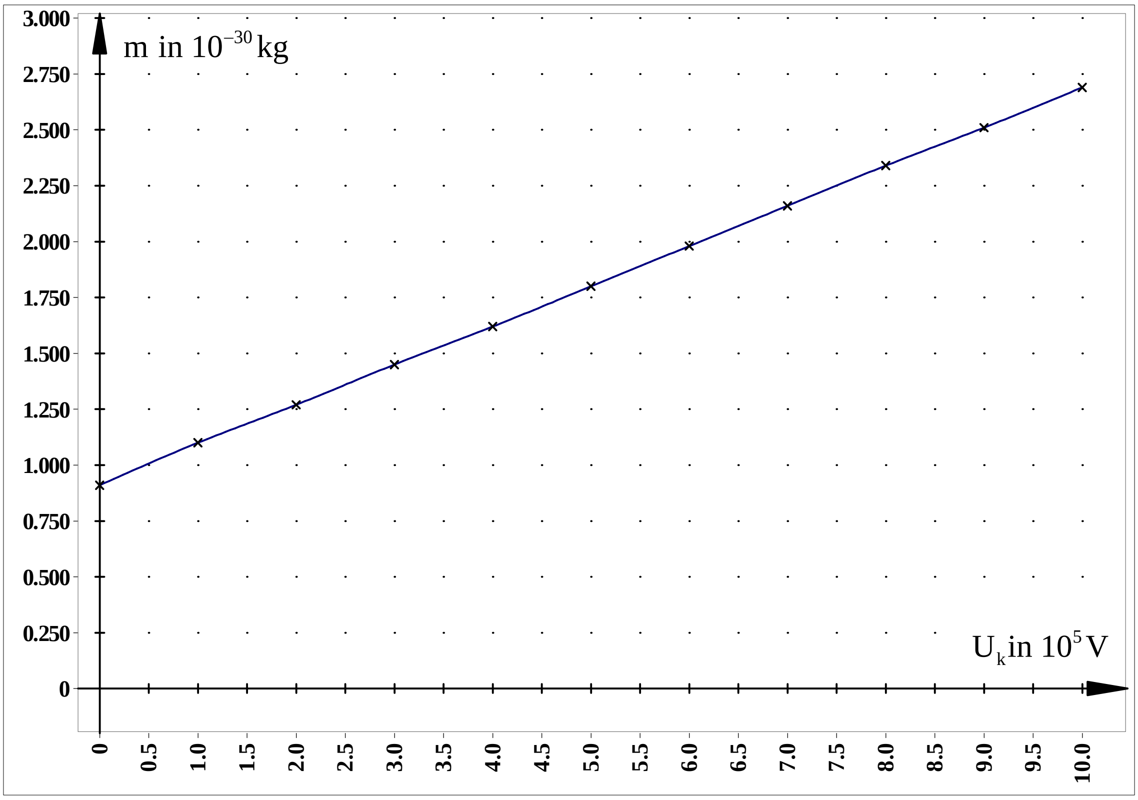
U_B berechnen:

Beispiel:

$$m_{1,0} = 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,kg + \frac{1{,}602 \cdot 10^{-19}\,A\,s \cdot 1{,}0 \cdot 10^{5}\,V}{\left(3 \cdot 10^{8}\,m \cdot s^{-1}\right)^{2}} = 1{,}1 \cdot 10^{-31}\,kg$$

$$[m] = kg + \frac{A\,s \cdot V}{m^2 \cdot s^{-2}} = kg + \frac{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}{m^2 \cdot s^{-2}} = kg$$

U_K in $10^5\,V$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
m in $10^{-30}\,kg$	1,1	1,27	1,45	1,62	1,8	1,98	2,16	2,34	2,51	2,69



3.1

$$F_{el} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}$$

$$F_{el} = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-6}\,C \cdot 2 \cdot 10^{-9}\,C}{4 \cdot \pi \cdot 8{,}854 \cdot 10^{-12}\,A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}} \cdot \frac{1}{r^2}$$

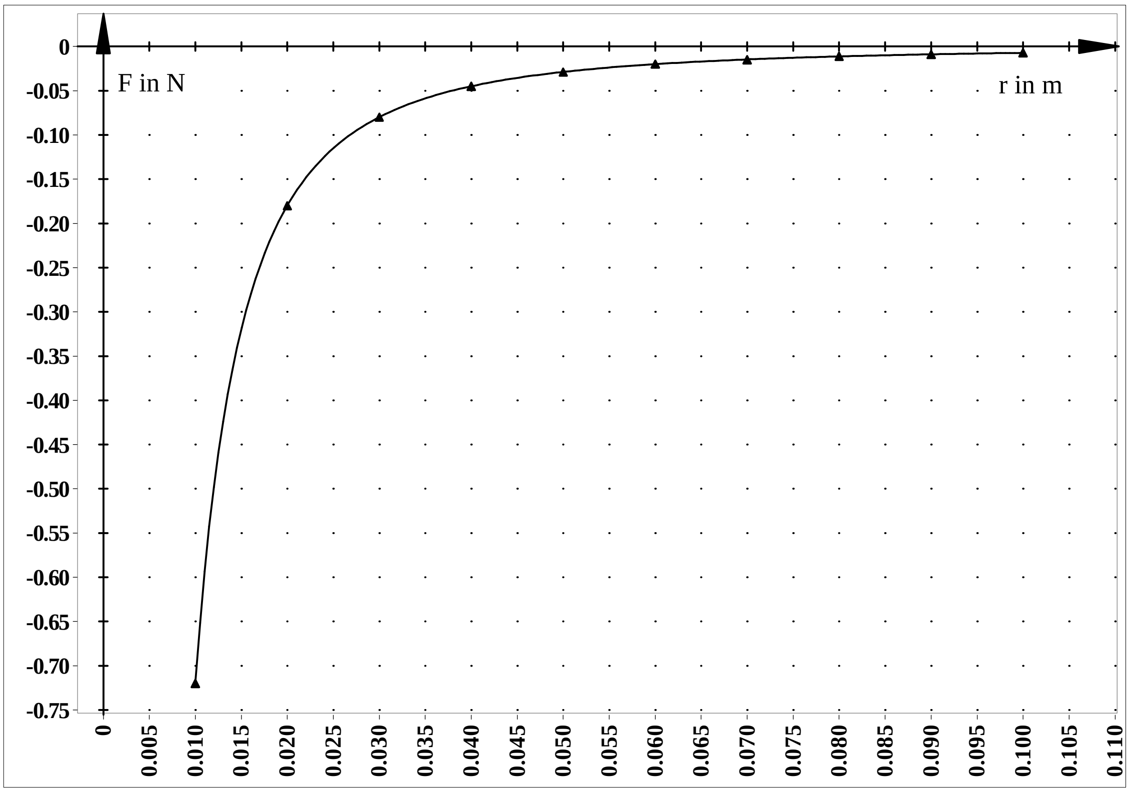
$$F_{el} = 7{,}19 \cdot 10^{-5}\,N \cdot m^2 \cdot \frac{1}{r^2}$$

$$[F_{el}] = \frac{C \cdot C}{A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}} \cdot \frac{1}{r^2} = A \cdot s \cdot V \cdot m \cdot \frac{1}{r^2} = N \cdot m \cdot m \cdot \frac{1}{r^2} = N \cdot m^2 \cdot \frac{1}{r^2}$$

Beispiel:

$$F_{0,1} = 7{,}19 \cdot 10^{-5}\,N \cdot m^2 \cdot \frac{1}{0{,}1^2\,m^2} = \underline{-0{,}72\,N}$$

r in m	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
F in N	-0,72	-0,18	-0,080	-0,045	-0,029	-0,020	-0,015	-0,011	-0,009	-0,007



3.2

Beschreibung:

- Bestimmung der Fläche, die der Graph im Intervall von 1,0 cm bis 10,0 cm mit der r-Achse einschließt.
- Bei Darstellung auf Millimeterpapier lässt sich die Fläche näherungsweise durch Auszählen ermitteln.