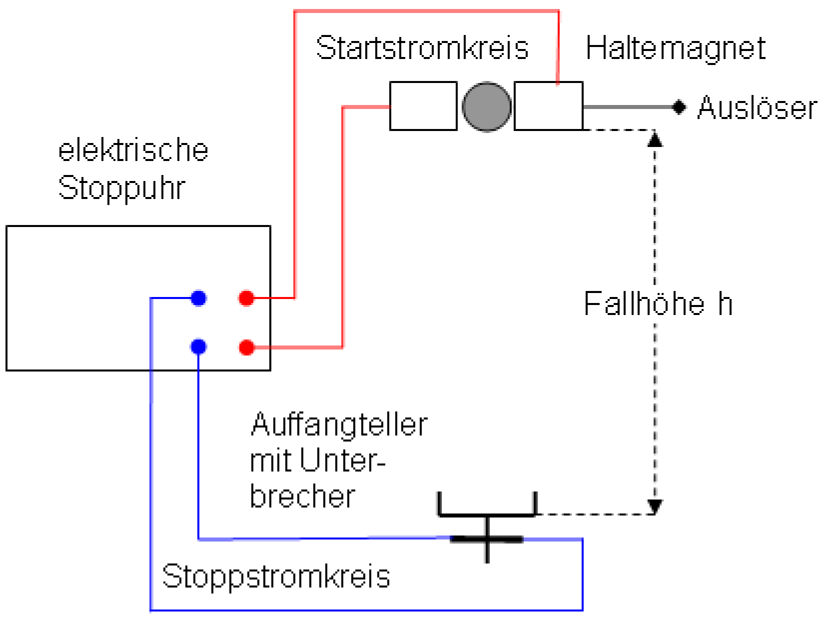
Abschlussprüfung Berufliche Oberschule 2016

- **Physik 12 Technik - Aufgabe I - Lösung**

Teilaufgabe 1.0
In einem Experiment soll der Betrag der Fallbeschleunigung bestimmt werden. Dazu lässt man zum Zeitnullpunkt eine kleine Eisenkugel aus der Ruhe heraus verschieden lange vertikale Strecken der Länge h durchfallen und misst jeweils die zugehörige Fallzeit t.

Teilaufgabe 1.1 (6 BE)
Fertigen Sie eine vollständig beschriftete Skizze eines möglichen Versuchsaufbaus an, die alle erforderlichen Geräte enthält. Erläutern Sie, wie die Fallzeit hierbei gemessen wird.

Versuchsaufbau:



Versuchsbeschreibung:

Eine Stahlkugel wird in der Höhe h über einen Fangschalter durch eine Arretiereinrichtung gehalten. Mit Freigabe der Kugel wird der Kurzzeitmesser gestartet. Trifft die Kugel auf den Fangschalter, so wird die Zeitmessung beendet.

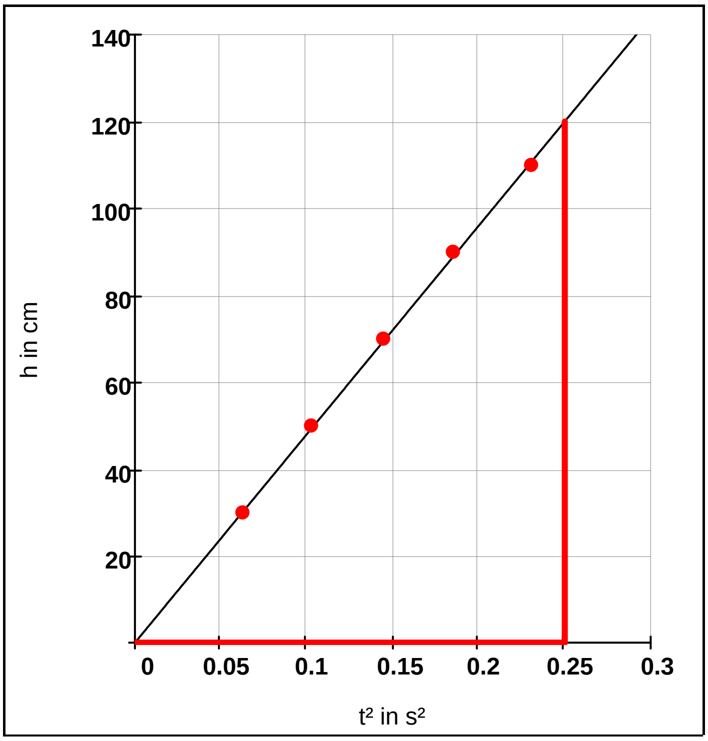
Teilaufgabe 1.2.0
Bei der Durchführung des Versuchs erhält man die folgenden Messergebnisse:

"h in cm"	30	50	70	90	110
"t in s"	0.25	0.32	0.38	0.43	0.48

Teilaufgabe 1.2.1 (5 BE)
Ermitteln Sie durch grafische Auswertung, wie h von t abhängt.

Quadrat der Zeit in s^2:

$z0 = (0.063 \quad 0.102 \quad 0.144 \quad 0.185 \quad 0.23)$



Im Rahmen der Mess- und Zeichengenauigkeit liegen die Messwerte auf einer Ursprungsgeraden.

$\Rightarrow \quad h \sim t^2$

Teilaufgabe 1.2.2 (3 BE)
Geben Sie den Zusammenhang zwischen h und t in Form einer Gleichung an und bestimmen Sie die dabei auftretende Konstante k aus dem Diagramm von 1.2.1.

[Mögliches Ergebnis: $k = 4.8 \cdot \frac{m}{s^2}$]

$h = k \cdot t^2$ wobei k eine Konstante ist.

$$k := \frac{1.20 \cdot m}{0.25 \cdot s^2} = 4.8 \frac{m}{s^2}$$

Teilaufgabe 1.2.3 (2 BE)
Bestimmen Sie aus der Konstanten k den Betrag der vorliegenden Fallbeschleunigung.

Theorie zum freien Fall: $h(t) := \frac{1}{2} g \cdot t^2$

Koeffizientenvergleich: $k = \frac{1}{2} \cdot g \quad \Rightarrow \quad g_{exp} := 2 \cdot k \qquad g_{exp} = 9.6 \frac{m}{s^2}$

Teilaufgabe 1.2.4 (3 BE)
Mit zunehmenden Fallhöhen nimmt der Einfluss der Luftwiderstandskraft auf die Fallzeit beim freien Fall zu.
Geben Sie an, wie sich die Luftwiderstandskraft auf die Fallzeit auswirkt und begründen Sie, wie die veränderte Fallzeit den ermittelten Betrag der Fallbeschleunigung beeinflusst.

$t_{Fall,Luft} > t_{Fall,Vakuum}$

$g = \frac{2 \cdot h}{t^2}$ $\quad g \sim \frac{1}{t^2}$ $\quad$ Der Betrag für g wird kleiner.

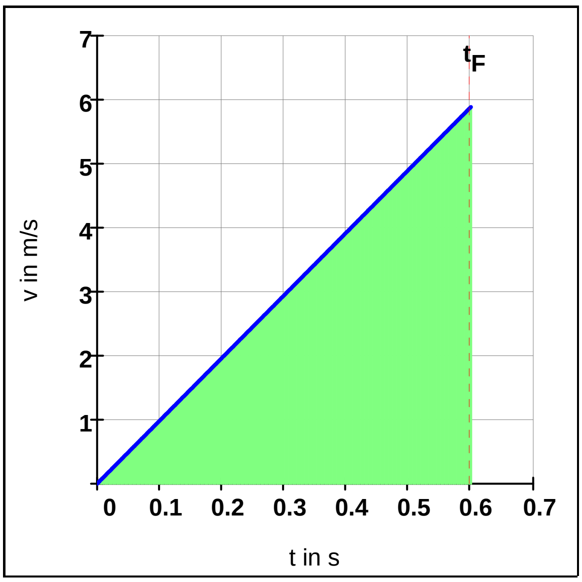
Teilaufgabe 1.3 (4 BE)
Ein Körper benötigt konkret für einen freien Fall im Vakuum die Fallzeit $t_F = 0.60 \cdot s$. v ist der Betrag der Momentangeschwindigkeit $\vec{v}$ des fallenden Körpers zum Zeitpunkt t. Zeichnen Sie das zugehörige t-v-Diagramm für $0 \leq t \leq t_F$. Geben Sie die physikalische Bedeutung des Flächeninhalts der zwischen Graph, t-Achse und der Geraden mit der Gleichung $t = t_F$ eingeschlossenen Fläche an.

Für den Betrag der Fallbeschleunigung gilt $g = 9.81 \cdot \frac{m}{s^2}$.

Maßstab: $0.10 \cdot s = 1 \cdot cm$; $1.0 \cdot \frac{m}{s} = 1 \cdot cm$.

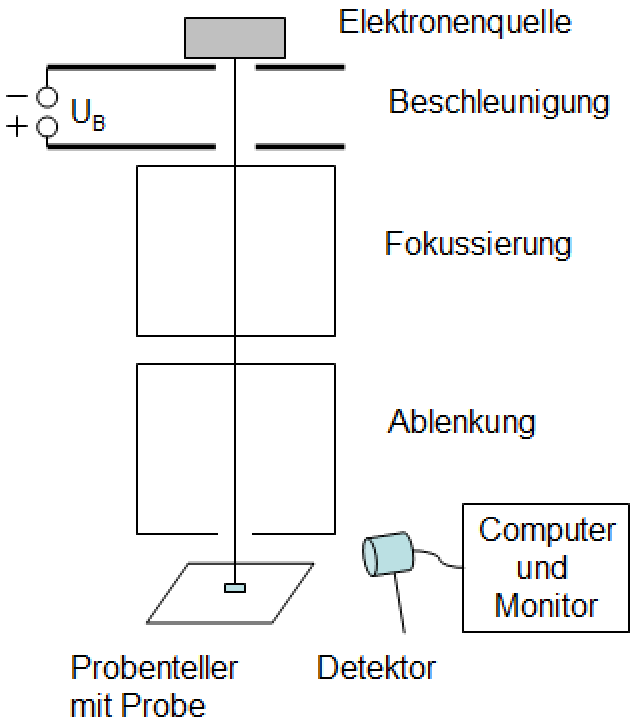
$t_F := 0.60 \cdot s$

$v(t) := 9.81 \cdot \frac{m}{s^2} \cdot t$ $\quad$ erreichte Endgeschwindigkeit: $\quad v(t_F) = 5.9 \frac{m}{s}$



Der Inhalt der schraffierten Fläche besitzt die physikalische Bedeutung der zum Zeitpunkt t_F durchfallenen Höhe.

Teilaufgabe 2.0
Ein Rasterelektronenmikroskop (kurz REM) besitzt eine deutlich höhere Auflösung als ein Lichtmikrospkop. Im Folgenden soll das Funktionsprinzip eines REM betrachtet werden. Ein fein fokussierter Elektronenstrahl tastet dabei die Oberfläche einer Probe ab. Ein Detektor erfasst die gestreuten Elektronen. Aufgrund der aufgenommenen Daten kann dann ein stark vergrößertes Bild der Probe auf einem Monitor erzeugt werden (siehe Skizze).
Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum. Die Gewichtskraft der Elektronen ist zu vernachlässigen.



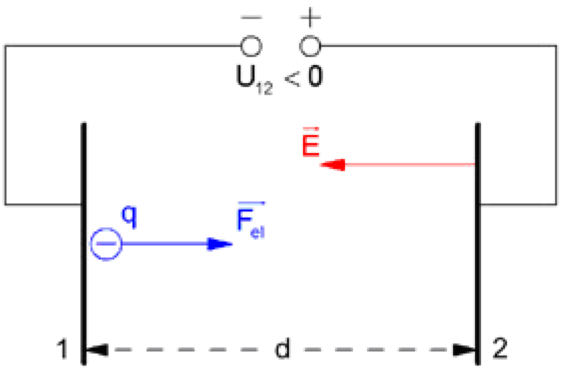
Teilaufgabe 2.1 (4 BE)
In der Elektronenquelle werden freie Elektronen mithilfe der Glühemission erzeugt. Geben Sie eine technische Möglichkeit an, wie sich eine solche Elektronenquelle einfach realisieren lässt und erläutern Sie die Vorgänge bei der Glühemission.

Erzeugung freier Elektronen
Ein geeigneter Metalldraht wird von einem elektrischen Strom durchflossen und dadurch zum Glühen gebracht.

Erklärung
Alle Stoffe sind aus Atomen aufgebaut. Diese bestehen aus einem positiv geladenen Kern und einer negativ geladenen Elektronenhülle. In Metallgittern sind die Elektronen frei verschiebbar. Um ein Elektron aus einer Metalloberfläche herauszulösen, muss gegen die elektrostatische Anziehungskraft zwischen dem positiven Metallgitter und dem Elektron Arbeit verrichtet werden, die **Austrittsarbeit**.

Teilaufgabe 2.2.0
Die Elektronen gelangen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit in das homogene elektrische Feld eines Beschleunigungskondensators. Dort durchlaufen sie die Beschleunigungsspannung $U_B = 1.8 \cdot kV$ und verlassen den Kondensator mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$.

Teilaufgabe 2.2.1 (3 BE)
Zeigen Sie ausgehend von einem Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie, dass für den Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}$ gilt: $v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B}$, wobei e für die Elementarladung und m_e für die Elektronenmasse steht.



$\left|U_{12}\right| = U_B = 1.8 \cdot kV$

Die elktrische Arbeit, die die elektrische Feldkraft an einem Elektron verrichtet, bewirkt eine Änderung der kinetischen Energie.

Energieerhaltung: $E_{ges,1} = E_{ges,2}$

Bezugspunkt auf Minus-Pol des Kondensators, Elektronen ohne Anfangsgeschwindigkeit:

$$E_{kin,1} + E_{pot,1} = E_{kin,2} + E_{pot,2}$$

$$0 + 0 = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 - q \cdot U_{12}$$

$$0 = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 - (-e) \cdot U_{12} \qquad \Rightarrow \qquad v = \sqrt{2 \cdot \frac{(-e)}{m_e} \cdot \left(-U_{12}\right)} = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B}$$

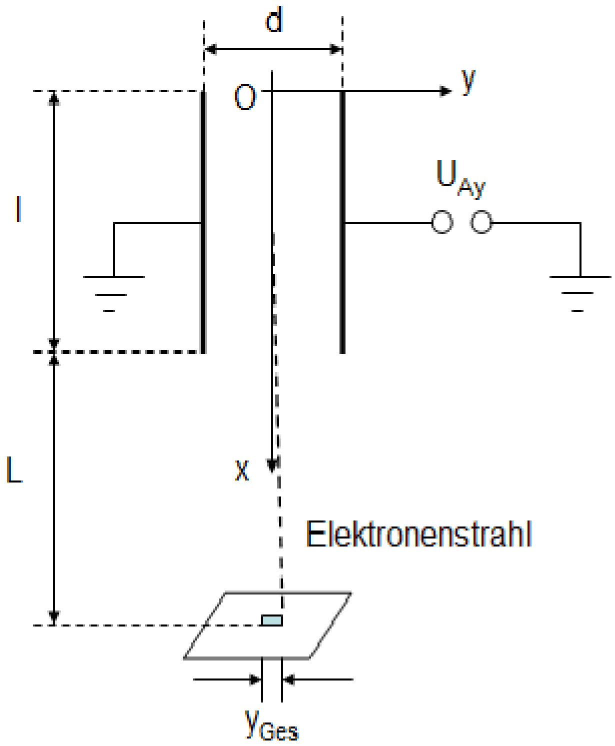
Teilaufgabe 2.2.2 (3 BE)
Berechnen Sie v und führen Sie eine Einheitenumrechnung durch.

$$v := \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot C \cdot 1.8 \cdot 10^{3} \cdot V}{9.109 \cdot 10^{-31} \cdot kg}} \qquad v = 2.5 \times 10^{7} \frac{m}{s}$$

Einehitenrechnung:

$$1 \cdot \sqrt{\frac{C \cdot V}{kg}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot s \cdot V}{kg}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{J}{kg}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{N \cdot m}{kg}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot \frac{m}{kg}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{m^2}{s^2}} = 1 \cdot \frac{m}{s}$$

Teilaufgabe 2.3.0
Die Ablenkeinheit soll hier aus zwei Plattenkondensatoren bestehen. Es wird nur der Kondensator betrachtet, der aufgrund der Ablenkspannung U_{Ay} eine Ablenkung des Elektronestrahls in y-Richtung bewirkt.
Die Länge der Konsensatorplatten beträt $l = 10.0 \cdot cm$, der Plattenabstand hat den Wert $d = 3.0 \cdot cm$.
Die Elektronen, welche die Beschleunigungsspannung $U_B = 1.8 \cdot kV$ durchlaufen haben, treten nach der Fokussierung mit der Geschwindigkeit $\vec{v}$ mittig in den Ablenkkondensator ein.
Die Bewegungsrichtung der Elektronen ist beim Eintritt senkrecht zu den elektrischen Feldlinien. Im Eintrittspunkt befindet sich der Koordinatenursprung O des zugrunde gelegten Koordinatensystems (siehe Skizze).
Das elektrische Feld ist auf den Bereich zwischen den Kondensatorplatten begrenzt.



Teilaufgabe 2.3.1 (5 BE)
Zeigen Sie durch allgemeine Herleitung, dass bezüglich des vorgebenen Koordinatensystems für die Bahn der Elektronen im Kondensator für $0 \le x \le l$ die folgende Gleichung gilt:

$$y = \frac{U_{Ay}}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot x^2.$$

Bewegung in x-Richtung
(senkrecht zu den el. Feldlinien):

$$F_x = 0 \cdot N$$

$$a_x = 0 \cdot \frac{m}{s^2}$$

$$v_x = v$$

$$x(t) = v \cdot t \qquad \Rightarrow \qquad t = \frac{x}{v} \qquad (1)$$

Bewegung in y-Richtung
(parallel zu den el. Feldlinien):

$$F_y = F_{el}$$

$$a_y = a_{el} = \frac{e}{m_e} \cdot E$$

$$v_y = a_{el} \cdot t$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot E \cdot t^2 \qquad (2)$$

(1) in (2) einsetzen:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot E \cdot \frac{x^2}{v^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot E \cdot \frac{x^2}{v^2} \qquad (3)$$

$E = \frac{U_{Ay}}{d}$ $\quad v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B}$ $\quad$ einsetzen in (**3**):

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e}{m_e} \cdot \frac{U_{Ay}}{d} \cdot \frac{1}{2 \cdot \frac{e}{m_e} \cdot U_B} \cdot x^2$$

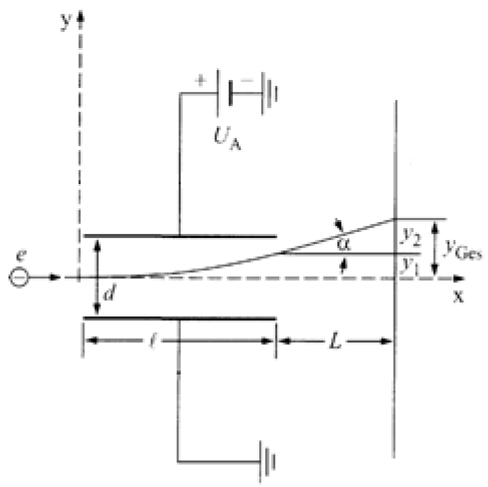
Vereinfachen: $\quad y = \frac{U_{Ay}}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot x^2$

Teilaufgabe 2.3.2 (6 BE)
Die Probe befindet sich im Abstand L unterhalb des Ablenkkondensators. An der Probe erreicht der Elektronenstrahl gegenüber der x-Achse die Ablenkung y_{ges}.

Zeigen Sie, dass für diese Abelnkung gilt: $y_{ges} = \frac{l \cdot (l + 2 \cdot L)}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot U_{Ay}$.

Bahnkurve: $y(x) = \frac{U_{Ay}}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot x^2$ $\qquad$ Ableitung: $y'(x) = \frac{U_{Ay}}{2 \cdot d \cdot U_B} \cdot x$

Ablenkung in y-Richtung innerhalb des Kondensators:



$x = l \quad \Rightarrow \quad y_1 = \frac{U_{Ay}}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot l^2$

Ablenkung in y-Richtung außerhalb des Kondensators:

$$\tan(\alpha) = y'(l) = \frac{U_{Ay}}{2 \cdot d \cdot U_B} \cdot l$$

$$\tan(\alpha) = \frac{y_2}{L} \quad \Rightarrow \quad y_2 = L \cdot \tan(\alpha) = L \cdot \frac{U_{Ay}}{2 \cdot d \cdot U_B} \cdot l$$

Gesamtablenkung:

$$y_{Ges} = y_1 + y_2 = \frac{U_{Ay}}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot l^2 + \frac{U_{Ay} \cdot l}{2 \cdot d \cdot U_B} \cdot L = \frac{U_{Ay} \cdot l}{4 \cdot d \cdot U_B} \cdot (l + 2 \cdot L)$$

Teilaufgabe 2.3.3 (2 BE)
Die Ablenkspannung kann maximal auf $U_{Ay,\,max} = 30.0 \cdot V$ eingestellt werden.
Berechnen Sie für $L = 19.9 \cdot cm$ die maximale Auslenkung $y_{ges\,,\,max}$ des Elektronenstrahls an der Probe gegenüber der x-Achse in der Einheit mm.

$$y_{Ges} := \frac{30.0 \cdot V \cdot 0.1 \cdot m}{4 \cdot 3.0 \cdot 10^{-2} \cdot m \cdot 1.8 \cdot 10^{3} \cdot V} \cdot (0.1 \cdot m + 2 \cdot 0.199 \cdot m)$$

$y_{Ges} = 6.917 \times 10^{-3}\,m$ gerundet: $y_{Ges} = 6.9\,mm$

Teilaufgabe 2.3.4 (4 BE)
Der Strom der Elektronen zwischen Elektronenquelle und Probe hat die Stärke $J = 3.2 \cdot nA$.
Berechnen Sie die Anzahl N der Elektronen, die in einer Zeitspanne von $\Delta t = 1.0 \cdot s$ auf die Probe treffen.

$J = \frac{|\Delta Q|}{\Delta t}$ $|\Delta Q| = N \cdot |e|$ $\Rightarrow$ $N = \frac{J \cdot \Delta t}{|e|}$

$$N := \frac{3.2 \cdot 10^{-9} \cdot A \cdot 1.0 \cdot s}{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot C}$$

$N = 2.0 \times 10^{10}$