

1 Elektrisches Feld

1.1 Plattenkondensator K (Spannung U von K , Probeladung Q)

Elektrische Feldstärke E (Plattenabstand d von K , Kraft F auf Q)

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{U}{d}$$
$$[E] = \frac{N}{C} = \frac{Nm}{C \cdot m} = \frac{VAs}{As \cdot m} = \frac{V}{m}$$

Elektrische Arbeit W_{el} (Strecke s , Kraft F auf Q)

$$W_{el} = F \cdot s = Q \cdot E \cdot s$$
$$[W_{el}] = Nm = VAs$$

Elektrisches Potenzial γ (Plattenabstand d von K , Strecke s)

$$\gamma = \frac{W_{el}}{Q} = \frac{Q \cdot E \cdot s}{Q} = E \cdot s = \frac{U}{d} \cdot s$$
$$[\gamma] = \frac{VAs}{As} = V$$

Kapazität C (Plattenabstand d von K , Plattenfläche A von K)

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = \frac{Q}{U}$$
$$[C] = \frac{C}{Vm} \cdot \frac{m^2}{m} = \frac{C}{V} = F(arad)$$

Energiegehalt, Aufladearbeit W_K von K

$$W_K = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2$$
$$[W_K] = \frac{C}{V} \cdot V^2 = VAs$$

1.2 punktförmige Ladung Q_1 (Probeladung Q_2)

Elektrische Feldstärke E (Abstand r zwischen Q_1 und Q_2)

$$E = \frac{|Q_1|}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{|Q_1|}{4\pi r^2 \cdot \epsilon_0}$$
$$[E] = \frac{C}{m^2 \cdot \frac{C}{Vm}} = \frac{V}{m}$$

Coulomb-Gesetz F (Abstand r zwischen Q_1 und Q_2)

$$F = E \cdot Q_2 = \frac{|Q_1 \cdot Q_2|}{4\pi r^2 \cdot \epsilon_0}$$
$$[F] = \frac{V \cdot As}{m} = \frac{Nm}{m} = N$$

Elektrisches Potenzial γ (Abstand $r = s$ zwischen Q_1 und Q_2 , $\gamma(\infty) = 0$)

$$\gamma = E \cdot s = \frac{|Q_1|}{4\pi r^2 \cdot \epsilon_0} \cdot r = \frac{|Q_1|}{4\pi r \cdot \epsilon_0}$$
$$[\gamma] = \frac{V}{m} \cdot m = V$$

2 Magnetisches Feld

2.1 Stromdurchflossene Spule S (Probeleiter P)

Magnetische Flussdichte B (Kraft F auf P , Stromstärke I von P , Länge l von P , Windungszahl N von P)

$$B = \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l} = \frac{F}{I \cdot l}$$
$$[B] = \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{A}{m} = \frac{N}{Am} =$$
$$= \frac{VAs}{Am^2} = \frac{Vs}{m^2} = T(esla)$$

2.2 Stromdurchflossene Leiter L

Magnetische Flussdichte B (Stromstärke I von L , P , Abstand r zu L)

$$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$$
$$[B] = \frac{Vs}{Am} \cdot \frac{A}{m} = \frac{Vs}{m^2} = T(esla)$$

3 Bewegung geladener Teilchen in elektrischen | magnetischen Feldern

3.1 Bewegungsgrundlagen

Bewegung in Richtung der Feldkraft (Beschleunigung a , Zeit t , Anfangsgeschwindigkeit v_0 , Anfangsposition x_0)

$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$
$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2}a \cdot t^2$$

Bewegung entgegen der Feldkraft (Beschleunigung a , Zeit t , Anfangsgeschwindigkeit v_0 , Anfangsposition x_0)

$$v(t) = v_0 - a \cdot t$$
$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2}a \cdot t^2$$

2.Newtonsche Gesetz (Kraft F , Beschleunigung a , Masse m)

$$F = m \cdot a$$

Beschleunigung a , Geschwindigkeitsdifferenz δv , zurückgelegter Weg δx

$$(\Delta v)^2 = 2a \cdot \Delta x$$

Zentralkraft F_Z (Masse m , Geschwindigkeit v , Kreisradius r)

$$F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

3.2 Bewegung im elektrischen Feld eines Plattenkondensators K (Probeladung Q)

Längsfeld (elektrische Feldstärke E zwischen K , Spannung U von K , Plattenabstand d von K , Kraft F auf Q , Masse m von Q , Endgeschwindigkeit v von Q)

Beschleunigung

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Q \cdot E}{m} = \frac{Q \cdot U}{m \cdot d}$$

Beschleunigungsarbeit

$$W = F \cdot d = Q \cdot E \cdot d = Q \cdot \frac{U}{d} \cdot d = Q \cdot U$$

Kinetische Energie nach d

$$E_{kin} = W$$
$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 = Q \cdot U$$

Querfeld $v_0 \perp E \perp F$ (elektrische Feldstärke E zwischen K , Spannung U von K , Plattenabstand d von K , Plattenlänge l von K , Anfangsgeschwindigkeit v_0 von Q , Kraft F auf Q , Masse m von Q , Endgeschwindigkeit v von Q)

Bewegung in X-Richtung

$$l = v_0 \cdot t$$

Bewegung in Y-Richtung

$$a_y = \frac{F}{m} = \frac{Q \cdot E}{m} = \frac{Q \cdot U}{m \cdot d}$$
$$v_y(t) = a_y \cdot t$$
$$y(t) = \frac{1}{2} a_y \cdot t^2$$
$$y(x) = \frac{1}{2} a_y \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = \frac{a_y \cdot x^2}{2 \cdot v_0^2}$$

Resultierende Bewegung

$$v_{ges}(t) = \sqrt{v_0^2 + v_y(t)^2}$$
$$\tan \alpha = \frac{v_y(t)}{v_0}$$

3.3 Bewegung im Magnetfeld B (Probeladung Q , Teilchengeschwindigkeit v_Q von Q , Teilchenmasse m von Q)

Wirksame Magnetische Flussdichte B_w (Winkel α)

$$B_w = B \cdot \sin \alpha$$

Lorentzkraft F_{mag} (gerader Probeleiter P , Länge l von P , Stromstärke I von P)

$$I = \frac{Q}{t}$$
$$l = \frac{v_Q}{t}$$
$$F_{mag} = l \cdot I \cdot B = v_Q \cdot Q \cdot B$$

Kreisbahn von Q in B ($v_Q \perp B$, Kreisradius r)

$$F_{mag} = F_Z$$
$$Q \cdot v_Q \cdot B = \frac{m \cdot v_Q^2}{r}$$
$$Q \cdot B = \frac{m \cdot v_Q}{r}$$

Spezifische Ladung $\frac{Q}{m}$ von Q (Beschleunigungsspannung U)

$$W_{el} = E_{kin}$$
$$Q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v_Q^2$$
$$Q \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot \left(Q \cdot B \cdot \frac{r}{m}\right)^2$$
$$\frac{Q}{m} = \frac{2 \cdot U}{B^2 \cdot r^2}$$

Massenspektrometer (Filtermagnetfeld B_{Filter} , Plattenkondensator K , Elektrisches Feld E von K , $B_{Filter} \perp E$, Kreisradius r)

Geschwindigkeitsfilter

$$F_{mag} = F_{el}$$
$$Q \cdot v_Q \cdot B_{Filter} = Q \cdot E$$
$$v_Q = \frac{E}{B_{Filter}}$$

Detektor

$$F_{mag} = F_Z$$
$$Q \cdot B = \frac{m \cdot v_Q}{r}$$
$$\frac{Q}{m} = \frac{E}{r \cdot B \cdot B_{Filter}}$$

Hall-Effekt (Probeleiter P , Volumen V von P , Länge l von P , Breite b von P , Dicke d von P , Driftgeschwindigkeit v_{Drift} von P , Stromstärke I von P , Elektrisches Feld E_{Hall} , Hall-Spannung U_{Hall} , $E \perp B$, Elektronenzahl N , Ladungsträgerdichte n)

$$V = l \cdot b \cdot d$$
$$\frac{1}{n} = \frac{V}{N}$$

$$\Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{N \cdot e}{I}$$

$$v_{Drift} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{l \cdot I}{N \cdot e}$$

$$F_{el} = F_{mag}$$

$$\frac{U_{Hall}}{b} = v_{Drift} \cdot B$$

$$U_{Hall} = v_{Drift} \cdot B \cdot b = \frac{I \cdot l}{N \cdot e} \cdot B \cdot b =$$

$$= \frac{I \cdot l}{N \cdot e} \cdot B \cdot b \cdot \frac{d}{d} = \frac{I \cdot B}{N \cdot e} \cdot \frac{V}{d} =$$

$$= \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

4 Spezielle Relativitätstheorie

4.1 Faktor γ (Geschwindigkeit v)

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

4.2 Zeitdilation (Eigenzeit Δt_0 im System S' , Relativzeit Δt im System S)

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

4.3 Längenkontraktion (Eigenlänge l_0 im System S' , Relativlänge l im System S)

$$l = \frac{1}{\gamma} \cdot l_0$$

4.4 Relativität der Masse (Ruhemasse m_0 im System S' , Relativmasse m im System S)

$$m = \gamma \cdot m_0$$

4.5 Relativität der Energie (Ruhenergie E_0 im System S' , Ruhemasse m_0 im System S' , Relativenergie E im System S , Relativmasse m im System S , Kinetische Energie E_{kin} von S')

$$E = \gamma \cdot E_0$$

$$E = mc^2$$

$$E_0 = m_0 c^2$$

$$E = E_0 + E_{kin}$$

$$E_{kin} = mc^2 - m_0 c^2$$

4.6 Relativistischer Impuls p (Ruhemasse m_0 im System S' , Relativmasse m im System S)

$$p = mv = \gamma \cdot m_0 v$$

4.7 Energie-Impuls-Relation (Ruhenergie E_0 im System S' , Relativenergie E im System S , S' mit Impuls p)

$$E^2 = c^2 p^2 + E_0^2$$

5 Elektromagnetische Induktion

5.1 Induktionsgesetz (magnetisches Feld B)

Induktionsspannung U_{ind} im Leiterstück L (Länge l von L , L befindet sich in B , Probeladung Q , Geschwindigkeit v_Q von Q , $B \perp F_L \perp v_Q$)

$$U_{ind} = l v_Q B$$

Lorentzkraft F_L auf L

$$F_L = Q v_Q B$$

Resultierendes elektrisches Feld E

$$E = \frac{U_{ind}}{l}$$

Ausgleich zwischen F_{el} und F_L

$$F_{el} = F_L$$

$$QE = Q v_Q B$$

$$E = v_Q B$$

Allgemeines Induktionsgesetz (Leiterschleife L , Windungszahl N von L , Fläche A von L eingeschlossen und von B durchsetzt, Änderungszeit Δt)

$$U_{ind} = \frac{\Delta A}{\Delta y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} \cdot B = \frac{\Delta A}{\Delta t} \cdot B = \dot{A}(t) \cdot B$$

$$U_{ind} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot A = \dot{B}(t) \cdot A$$

$$U_{ind} = -N \cdot \dot{\Phi}$$

magnetischer Fluss Φ

$$\Phi = B \cdot A$$

$$[\phi] = \frac{Vs}{m^2} \cdot m^2 = Vs$$

$$\dot{\Phi} = \dot{A}(t) \cdot B + \dot{B}(t) \cdot A$$

5.2 Erzeugung einer Wechselspannung U_{ind} mit einer rotierenden Leiterschleife L (Magnetfeld B , Leiterschleife L , Windungszahl N von L , Fläche A von L eingeschlossen und von B durchsetzt, Maximum A_0 von A , Winkelgeschwindigkeit w)

$$\begin{aligned} U_{ind}(t) &= -N \cdot B \cdot \dot{A}(t) = \\ &= -N \cdot B \cdot (A_0 \cdot \cos(w \cdot t)) = \\ &= -N \cdot B \cdot A_0 \cdot (-\sin(w \cdot t) \cdot w) = \\ &= N \cdot B \cdot A_0 \cdot w \cdot \sin(w \cdot t) = \\ &= U_0 \sin(w \cdot t) \end{aligned}$$

Drehung um Winkel α

$$\begin{aligned} \alpha &= w \cdot t = f \cdot 2\pi \\ \cos \alpha &= \frac{2x}{l} \\ A &= A_0 \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

5.3 Selbstinduktion (Spule S , Induktivität L von S , Länge l von S , Windungszahl N von S , magnetisches Feld B von S , Fläche A von S eingeschlossen und von B durchsetzt, variable Stromstärke I)

$$\begin{aligned} |U_{ind}| &= N \cdot A \cdot \dot{B} \\ B &= \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |U_{ind}| &= N \cdot A \cdot \mu_0 \mu_r \cdot \frac{N}{l} \cdot \dot{I} \\ U_{ind} &= -L \cdot \dot{I} \end{aligned}$$

Induktivität

$$L = \mu_0 \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$
$$[L] = \frac{Vs \cdot m^2}{Am \cdot m} = \frac{Vs}{A} = H(enry)$$

Energiegehalt E_{mag} von S

$$E_{mag} = \frac{1}{2} \cdot LI^2$$
$$[E_{mag}] = \frac{Vs}{A} \cdot A^2 = VAs = J$$

6 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

6.1 Elektrischer Schwingkreis (Kondensator K , Kapazität C von K , Spule S , Induktivität L von S , Schwingungsdauer T , Frequenz f , Winkelgeschwindigkeit w)

Thomsongleichung

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$
$$[T] = \sqrt{\frac{Vs \cdot As}{A \cdot V}} = s$$
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$
$$w = 2\pi \cdot f = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Zeitlicher Ablauf (maximal Spannung U_0 in K , maximale Stromstärke I_0 in S , Zeitpunkt t)

Spannung U_K in K

$$U_C(t) = U_0 \cdot \cos(w \cdot t)$$

Stromstärke I_S in S

$$I_S(t) = -I_0 \cdot \sin(w \cdot t)$$

Energie E_0 im Schwingkreis (Energie E_{el} in K , Energie E_{mag} in S , Zeitpunkt t)

$$E_0 = E_{el}(t) + E_{mag}(t)$$

Energie im Kondensatorfeld

$$E_{el} = \frac{1}{2} \cdot CU^2$$
$$E_{el}(t) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0 \cdot \cos^2(w \cdot t)$$

Energie im Magnetfeld

$$E_{mag} = \frac{1}{2} \cdot LI^2$$
$$E_{mag}(t) = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_0 \cdot \sin^2(w \cdot t)$$

6.2 Dipolstab S (Länge l von S , Schwingungsfrequenz f von S , Wellenlänge λ , Ausbreitungsgeschwindigkeit c)

$$l = \frac{1}{2} \cdot \lambda$$
$$c = \lambda \cdot f$$