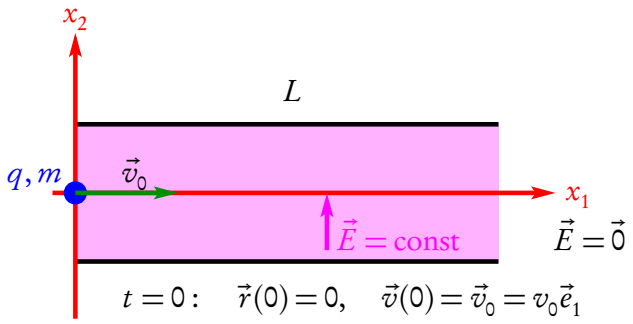
H. van Hees **Wintersemester 2026/2027**

Übungen zur Theoretischen Physik 2 für das Lehramt L3 – Blatt 1

Aufgabe 1 [10 Punkte]: Geladenes Teilchen im homogenen elektrostatischen Feld

Wie wir später in der Vorlesung lernen werden, kann man zwischen zwei parallelen leitenden Platten (Plattenkondensator) ein näherungsweise homogenes elektrisches Feld erzeugen. Die Platten besitzen die Länge L, und wir nehmen näherungsweise an, dass zwischen den Platten ein konstantes elektrisches Feld $\vec{E} = E\vec{e}_2$ herrscht, und außerhalb der Platten das Feld verschwindet. Zur Zeit $t = 0$ gelange ein Punktteilchen der Ladung q in den Kondensator bei $\vec{r} = 0$ mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_0 = v_0\vec{e}_1$. Einfachheitshalber sei die Schwerkraft der Erde in dieser Aufgabe vernachlässigt.



(a) Berechnen Sie die Kraft die auf das Teilchen innerhalb und außerhalb des Kondensators wirkt.

(b) Wie lautet die Bewegungsgleichung für das Teilchen?

(c) Welche Geschwindigkeit und welchen Ort besitzt das Teilchen, wenn es am Ende des Kondensators angekommen ist?

(d) Wie fliegt es danach weiter?

Aufgabe 2 [10 Punkte]: Geladenes Teilchen im homogenen statischen Magnetfeld

Auf ein Teilchen der Ladung q wirkt in einem Magnetfeld die Lorentz-Kraft

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Im folgenden sei $\vec{B} = B\vec{e}_3 = \text{const}$.

(a) Schreiben Sie die Kraft explizit in kartesischen Koordinaten!

(b) Wie lautet die Bewegungsgleichung für die Geschwindigkeit?

(c) Finden Sie eine Differentialgleichung für v_1 allein, indem Sie die Bewegungsgleichung für v_1 einmal nach der Zeit ableiten und dann die Bewegungsgleichung für v_2 verwenden!

(d) Anfangs, zur Zeit $t = 0$, sei $\vec{v}(0) = v_0\vec{e}_1$. Lösen Sie die in der vorigen Teilaufgabe gefundene Bewegungsgleichung für die Geschwindigkeit.

Hinweis: Erinnern Sie sich an den harmonischen Oszillator aus der Mechanik-Vorlesung!

(e) Berechnen Sie nun noch die Bahnkurve $\vec{r}(t)$ mit den Anfangsbedingungen $\vec{r}(t=0)=\vec{0}$. Welche geometrische Form besitzt diese Kurve?

Knobelfrage zum Nachdenken (5 Extra-Punkte): J. J. Thomson wies 1896 nach, dass Kathodenstrahlen aus geladenen Teilchen bestehen, indem er deren Ablenkung in elektrischen bzw. magnetischen Feldern vermaß. Es waren derzeit weder Ladung noch Masse dieser Teilchen bekannt. Hätte Thomson, durch irgendeine clevere Wahl von elektrischen und magnetischen Feldern sowohl Ladung als auch Masse bestimmen können?

Heute wissen wir, dass die Kathodenstrahlen Elektronen mit einer Ladung $q_\mathrm{e}=-e=-1{,}602176634\cdot 10^{-19}$ C und einer Masse $m=9{,}1093837015(28)\cdot 10^{-31}$ kg sind.

Bemerkung: Die Ladung $e=+1{,}602176634\cdot 10^{-19}$ C (exakt, da durch Definition der elektrischen Ladungseinheit im SI festgelegt) heißt **Elementarladung**. Die uns umgebende Materie besteht aus Atomen, die ihrerseits aus einem **Atomkern**, die ihrerseits aus **Protonen** und **Neutronen** mit um diesen herumgruppierten **Elektronen** zusammengesetzt sind. Da die Materie erfahrungsgemäß elektrisch neutral ist, müssen die Protonen die exakt entgegengesetzte Ladung des Elektrons besitzen, also $q_\mathrm{p}=+e$, und ein neutrales Atom besitzt genauso viele Elektronen wie Protonen im Kern enthalten sind. Die Neutronen sind elektrisch neutral, d.h. $q_\mathrm{n}=0$.

Heute wissen wir, dass die Protonen und Neutronen (zusammenfassend auch **Nukleonen** genannt) selbst keine elementaren Teilchen sind sondern ein komplizierter Bindungszustand aus **Quarks** (und **Gluonen**). Die Bindung wird durch die starke Kernkraft hervorgerufen. Die Nukleonen setzen sich aus den beiden leichtesten Quarks (up und down) zusammen. Jedes Nukleon besitzt 3 sog. Valenzquarks. Da die Ladung eines zusammengesetzten Objekts sich additiv aus der Ladung der Konstituenten zusammensetzt müssen die Ladungen der Quarks demnach Vielfache von $e/3$ sein. Es zeigt sich, dass das up-Quark die Ladung $q_\mathrm{up}=+2e/3$ und das down-Quark die Ladung $q_\mathrm{down}=-e/3$ besitzt. Demzufolge setzt sich das Proton aus 2 up- und einem down-Quark zusammen, während das Neutron zwei down- und ein up-Quark enthält. Aufgrund einer komplizierten, bislang noch nicht wirklich vollständig verstandenen, Eigenschaft der starken Wechselwirkung kann man Quarks (und auch Gluonen) nie als freie Teilchen beobachten, sondern nur als sog. Hadronen. Dies nennt man **Confinement**. Bekannt sind Bindungszustände aus 3 Quarks (**Baryonen**), zu denen wie eben beschrieben auch die Protonen und Neutronen gehören und Bindungszustände aus einem Quark und einem Antiquark (**Mesonen**). Deshalb lassen sich (wenigstens bislang) nur Elementarteilchen und zusammengesetzte Teilchen mit ganzzahligen Vielfachen der Elementarladung e beobachten.

Ein genaues Verständnis dieses mikroskopischen Aufbaus der Materie ist nur im Rahmen der Quantentheorie möglich. In der klassischen Elektrodynamik, die wir in diesem Semester behandeln, wird die makroskopische Materie nur im Sinne einer „effektiven Theorie“ phänomenologisch behandelt. Ihre Eigenschaften werden dabei durch Ladungs-, Strom- und Magnetisierungsverteilungen sowie Materialkonstanten wie Dielektrizität, Permeabilität und elektrische Leitfähigkeit beschrieben.
