13.05.2004
H. Kolanoski
M. Kopytin

Übung 5

zur Vorlesung im SS04
Detektoren in der Elementarteilchenphysik

Aufgabe 5.1: Drift von Elektronen in einem Edelgas (20 P)

Betrachten Sie die Bewegung von Elektronen in Helium bei einer Temperatur von $T = 20\,°\mathrm{C}$, einem Druck von $p = 1013\,\mathrm{mbar}$ und einer homogenen elektrischen Feldstärke $E = 5\,\mathrm{V/cm}$.

Bei Elektronenenergien unter etwa $10\,\mathrm{eV}$ kommt es nur zu elastischen Stößen zwischen Elektronen und Heliumatomen mit einer näherungsweise isotropen Streuwinkelverteilung. Der Wirkungsquerschnitt für die elastische Streuung von Elektronen an Heliumatomen ist etwa $\sigma = 5 \cdot 10^{-20}\,\mathrm{m}^2$.

a) Machen Sie sich zunächst klar, dass die Elektronen bei den elastischen Stößen fast keine Energie verlieren. Berechnen Sie dazu den maximalen relativen Impulsübertrag $(\Delta p/p)$ eines Elektrons auf ein Gasatom bei einem Stoß. Wie groß ist der dazugehörige maximale relative Energieverlust $(\Delta E/E)$ des Elektrons? Da die thermische Geschwindigkeit der Ionen aufgrund ihrer größeren Masse sehr viel kleiner als die der Elektronen ist, können Sie das Gasatom als vor dem Stoß ruhend betrachten.

   Alle Rechnungen können hier nicht-relativistisch gemacht werden, bei den Energien handelt es sich um kinetische Energien.

b) Berechnen Sie die Teilchendichte der Heliumatome für die angegebenen Druck- und Temperaturwerte, für die Helium als ideales Gas behandelt werden kann.

c) Berechnen Sie die mittlere freie Weglänge λ der Elektronen in Helium.

Bei kleinen elektrischen Feldstärken sind die Elektronen in Helium noch thermisch, d.h. ihre Geschwindigkeitsverteilung folgt im wesentlichen der Maxwell-Boltzmannschen Verteilung.

d) Bestimmen Sie den mittleren Geschwindigkeitsbetrag der Elektronen und die mittlere Zeit τ zwischen zwei Stößen.

Unter den Annahmen, daß bei einem Stoß die Elektronen mit gleicher Wahrscheinlichkeit in alle Richtungen gestreut werden (isotrope Streuung) und der Betrag der Geschwindigkeit sich im wesentlichen nicht ändert, ergibt sich unmittelbar nach dem Stoß eine mittlere Geschwindigkeit in Driftrichtung von Null, d.h. das Elektron hat im Mittel alle vorher gewonnene Information verloren. Daher ist die Driftgeschwindigkeit die mittlere Geschwindigkeit zwischen zwei Stößen. Diese Überlegung gilt nur dann, wenn sich die Zeit zwischen zwei Stößen (bei konstanter mittlerer freier Weglänge) durch den Einfluß des äußeren Feldes nicht ändert. Das ist annähernd der Fall, wenn die Driftgeschwindigkeit sehr viel kleiner als die mittlere thermische Geschwindigkeit ist und die Elektronen durch das Feld nicht "aufgeheizt" werden. Beides ist in diesem Beispiel wegen der kleinen Feldstärke erfüllt.

e) Berechnen Sie die Driftgeschwindigkeit als mittlere Geschwindigkeit aufgrund der Beschleunigung im elektrischen Feld zwischen zwei Stößen. Vergleichen Sie diesen Wert mit der gemessenen Driftgeschwindigkeit von $w = 0.045\,\mathrm{cm}/\mu\mathrm{s}$ für $E = 5\,\mathrm{V/cm}$. Um welchen Faktor liegt die ermittelte Driftgeschwindigkeit unter der mittleren thermischen Geschwindigkeit der Elektronen?

Abgabe: Donnerstag 27.05.2004, in der Vorlesung