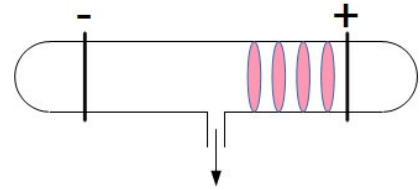


Lösung

- 1 Wird aus einer Entladungsröhre, an die eine Hochspannung angelegt ist, die Luft herausgepumpt, so sieht man während der Evakuierung Leuchterscheinungen. In der Luft, die sich in der Röhre befindet, sind immer einige positiv und negativ geladene Teilchen enthalten. Durch Aufprall dieser Teilchen auf die Elektroden können Elektronen in großer Zahl freigesetzt werden.



- 1.1 Erläutern Sie, was mit den geladenen Teilchen auf Grund der angelegten Spannung passiert.

Die positiven Luft-Ionen bewegen sich zum Minuspol und schlagen beim Auftreffen Elektronen aus der Elektrode heraus. Die Elektronen werden vom Pluspol angezogen und wechselwirken auf ihrem Weg mit der Luft.

- 1.2 Bewegte geladene Teilchen können beim Zusammenstoß mit Gasteilchen auf verschiedene Art mit dem Gas wechselwirken. Beschreiben Sie, was man dabei unter elastischer Streuung, inelastischer Streuung und Ionisation versteht.

elastische Streuung: Elektronen stoßen an die Gasteilchen und übertragen dabei Impuls und Energie an das gesamte Teilchen. Modell: große und kleine Flummis stoßen zusammen. Die Elektronen verlieren bei der Wechselwirkung Energie. Es sind dabei beliebige Energiebeträge möglich.

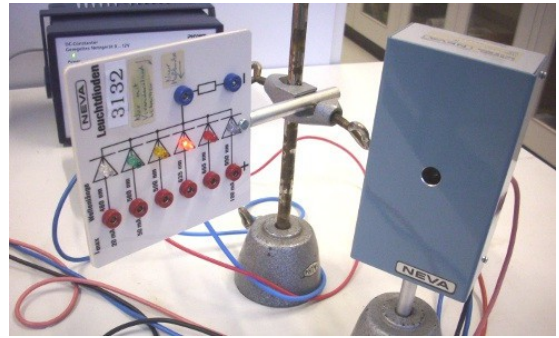
inelastische Streuung: Elektronen regen beim Zusammenstoß mit den Gasatomen diese Atome an und heben dabei Hüllenelektronen auf ein höheres Energieniveau an. Die Elektronen verlieren dabei genau definierte Energiebeträge (Energiedifferenzen zwischen den Anregungsniveaus der Atome). Die übertragenen Energiebeträge können also nicht beliebige Größe haben.

Ionisation: Die Elektronen übertragen beim Zusammenstoß mit den Gasatomen so viel Energie, dass ein Hüllenelektron das Gasatom verlässt. Da dann eine negative Ladung weniger im Atom übrig bleibt, ist das Atom dann insgesamt positiv geladen.

- 1.3 Erläutern Sie, wie die rötliche Schichtung in der Nähe des Pluspols zustande kommt.

Bei ihrem Weg durch die Röhre werden die Elektronen immer schneller und erhalten dadurch immer mehr Energie. Besitzen sie die Energie, die zum Anregen eines Gasatoms nötig ist, können die Elektronen diese Energie an das Gasatom abgeben und werden dann von einer niedrigeren Energie aus wieder beschleunigt. Am Ort der Energieabgabe sendet das angeregte Gasatom nach kurzer Zeit die Energie in Form von Licht wieder aus (rötliches Leuchten). Da die Elektronen vor einer weiteren Anregung eines Gasatoms zunächst etwas Weg zurücklegen müssen, um wieder Energie anzusammeln, liegt zwischen den Orten, an denen Licht ausgesendet wird, immer ein Dunkelraum.

2 Lässt man das Licht verschiedenfarbiger LEDs auf eine Fozelle treffen, so können Elektronen aus dem Metall der Zelle herausgelöst werden. Die Energie der ausgelösten Elektronen wird über eine Spannungsmessung ermittelt.



2.1 Geben Sie mit Begründung an, warum sich die gemessene Spannung/Energie ändert, wenn man die Farbe der LEDs wechselt.

In einer Fozelle werden durch auftreffendes Licht Elektronen aus einer Metallplatte heraus gelöst. Die freigesetzten Elektronen gelangen auf einen Metallring, der sich vor der Metallplatte befindet und laden diesen auf. Ab einer gewissen Ladung werden die ankommenden Elektronen so stark abgestoßen, dass eine weitere Aufladung unterbunden wird. Es bildet sich so in kurzer Zeit eine konstante Spannung zwischen der Metallplatte und dem Ring, die ein Maß für die Energie der freigesetzten Elektronen ist.



Da die Energie des Lichts von der Wellenlänge und damit von der Farbe abhängt, besitzt verschiedenfarbiges Licht auch verschiedene Energien, gibt verschiedene Energien an die Elektronen der Metallplatte ab und erzeugt damit auch verschiedene Spannungen zwischen Ring und Platte.

2.2 Erläutern Sie, warum bei bestimmten Farben keine Elektronen freigesetzt werden. Geben Sie an, für welche Farben das am ehesten der Fall sein wird.

Ist die Energie des Lichts zu gering, können keine Elektronen aus der Platte herausgelöst werden. Da die Energie des Lichts vom roten Licht zum blauen Licht hin ansteigt, wird das Licht im roten Bereich keine Elektronen auslösen können.

2.3 Geben Sie mit Begründung an, ob, und wenn ja, wie sich die Spannung/Energie ändern wird, wenn man statt einer LED mehrere gleichfarbige LEDs zum Bestrahlen der Fozelle verwendet.

Da ein Elektron immer nur von einem Photon gleichzeitig Energie erhalten kann, bewirkt eine Vervielfachung der Photonen keine höhere Energieabgabe an ein einzelnes Elektron.

2.4 Bei einer Messung ergeben sich folgende Werte:

Farbe der LED	rot	orange	gelb	grün	blau
Wellenlänge in nm	665	635	590	560	480
Spannung in V	0,099	0,182	0,324	0,428	0,807

Zeigen Sie durch Auswertung der Messreihe (waagrecht die Frequenz f des Lichts und senkrecht die Energie E abtragen), dass die Messpunkte mathematisch durch eine Gerade beschrieben werden können.

Erklären Sie die physikalische Bedeutung der Steigung und des y-Achsenabschnittes der Gerade.

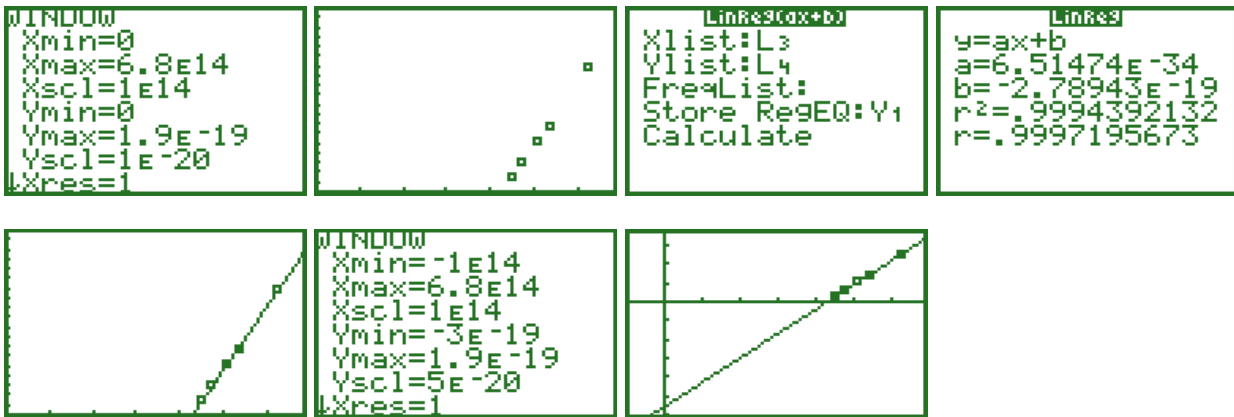
Zur Auswertung wird in die Listen des Taschenrechners eingetragen:

L1 - Wellenlänge λ

L2 - Spannung U

L3=3E8/L1 - Frequenz $f=c/\lambda$

L4=1.6E-19*L2 - Energie $E=e \cdot U$

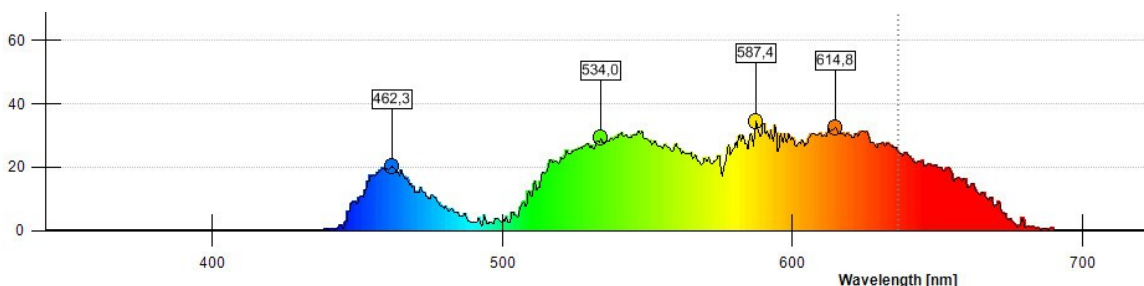


Die Messpunkte liegen anscheinend auf einer Geraden, weshalb der Ansatz „lineare Regression“ gewählt wird. Die gefundene Geradengleichung ist $E = 6,5 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot f - 2,8 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Die Steigung (die für alle Metalle gleich ist) benennt man mit dem Buchstaben h .
 $h = 6,5 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ist die Plancksche Konstante h .

Der y -Achsenabschnitt $E_A = -2,8 \cdot 10^{-19} \text{ J} = -1,75 \text{ eV}$ gibt die Energie an, die man benötigt, um das Elektron aus dem Metall der Platte zu lösen. Erst, wenn Photonen eine höhere Energie als diese Bindungsenergie besitzen, kann man Elektronen registrieren.

3 Das Licht einer mit LEDs bestückten Schreibtischlampe wird mit einem Spektrometer analysiert:



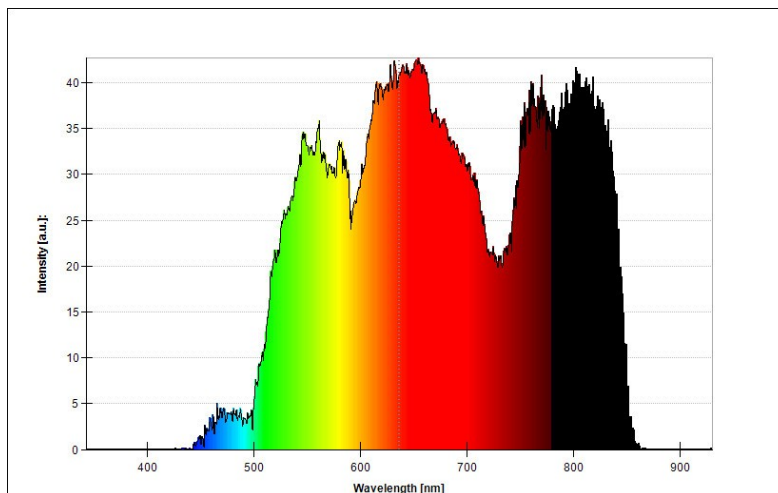
3.1 LEDs erzeugen nur Licht einer einzigen Wellenlänge. Um weißes Licht zu erzeugen, wird die LED mit einer Fluoreszenzschicht umgeben, die das erzeugte Licht in andersfarbiges Licht umwandelt.

Geben Sie mit Begründung an, ob man entscheiden kann, welche Farbe die oben beschriebene Schreibtischlampe eigentlich (also ohne Fluoreszenzschicht) abstrahlen würde und welche Farbe das dann sein müsste.

Falls das abgebildete Spektrum bei der Beantwortung der Frage helfen kann, geben Sie begründet an, welche Anzeichen auf die ursprüngliche Farbe hindeuten.

Um Licht einer bestimmten Farbe zu erzeugen, muss diese Energie durch das erzeugende Licht geliefert werden. Das erzeugende Licht muss also energiereicher sein als das erzeugte Licht. Sichtbares Licht kann also nur durch UV-Licht oder kurzwelligeres Licht gewonnen werden. Im Spektrum sieht man ein deutliches Minimum zwischen dem blauen Licht und dem andersfarbigen Licht. Es ist also zu vermuten, dass die LED blaues Licht ausstrahlt, das dann durch die Fluoreszenzschicht in grünes bis rotes Licht (und damit energieärmeres Licht) umgewandelt wird. Insgesamt wird zusammen mit dem ursprünglichen blauen Licht der Gesamteindruck „weiß“ erreicht. Da die Intensität zum roten Licht hin größer wird, wird sogenanntes „warmes“ Licht erzeugt, im Gegensatz zu „kalt“, eher blauem Licht.

3.2 Vergleichen Sie das oben abgebildete Spektrum mit dem Spektrum einer herkömmlichen Glühlampe:



Gehen Sie bei der Beantwortung der Frage auch darauf ein, warum leistungsfähige herkömmliche Glühlampen außer für Spezialanwendungen nicht mehr produziert werden dürfen.

Gegenüber dem Spektrum der LED-Lampe ist bei der Glühlampe die Gewichtung zwischen roten und blauen Anteilen stark zum roten Licht hin verschoben. Glühlampen liefern also kein weißes Licht, sondern eher ein rötliches Licht.

Auffällig ist die hohe Intensität im Bereich über 800 nm (schwarz dargestellt). Hier handelt es sich um Wärmestrahlung, die als Nebenprodukt bei der Lichterzeugung anfällt und ungenutzt bleibt.

Die LED-Lampe strahlt keine nennenswerte Wärmestrahlung ab.

Aus Energiespar-Gründen dürfen Glühlampen hoher Leistung nicht mehr hergestellt werden. LEDs sind ein guter Ersatz, da sie eher tageslichtähnliches Licht erzeugen und für gleiche Lichtintensität wesentlich weniger Energie als Glühlampen benötigen.

4 Im Unterricht wurde gezeigt, dass Elektronen auch Welleneigenschaften haben. Aber auch sogar kleine Rußkugeln (Fullerene), die aus 60 Kohlenstoffatomen bestehen und einen Durchmesser von etwa 1,5 nm besitzen, zeigen Welleneigenschaften. Die Masse eines einzelnen Kohlenstoffatoms beträgt $m_C = 1,99 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$.

4.1 Kugeln, bestehend aus 60 Kohlenstoffatomen, werden mit der Geschwindigkeit $v = 220 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ durch ein Gitter (Abstand der Gitteröffnungen $g = 100 \text{ nm}$) geschossen. Berechnen Sie die Wellenlänge dieser Rußkugeln.

Die Wellenlänge berechnet sich nach de Broglie aus

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{h}{60 \cdot m_C \cdot v} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{60 \cdot 1,99 \cdot 10^{-26} \cdot 220} \text{ m} = 2,51 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2,51 \text{ pm}$$

4.2 Im Institut für Experimentalphysik, Uni Wien, Abt. Prof. Zeilinger, wurde dieser Versuch durchgeführt. Man hat 2 m hinter dem Gitter im Abstand $100 \mu\text{m}$ ($= 100 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) vom Hauptmaximum entfernt ein Intensitätsmaximum gemessen. Berechnen Sie, um das wievielte Nebenmaximum es sich dabei handelte. Begründen Sie, warum Sie bei der Rechnung die Näherung $\sin \alpha = \tan \alpha$ benutzen dürfen.

Wir rechnen mit den bekannten Formeln für die Beugung am Gitter (g : Gitterkonstante;
 λ : Wellenlänge; a : Abstand Gitter - Schirm; x_n : Abstand Hauptmaximum - n -tes Nebenmaximum;
 α : Ablenkwinkel)

Für das n -te Nebenmaximum gilt: $\sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g}$; $\tan \alpha_n = \frac{x_n}{a}$

Für den Winkel α_n gilt danach $\tan \alpha_n = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{2} = 5 \cdot 10^{-5} \rightarrow \alpha_n = \arctan(5 \cdot 10^{-5}) = 0,00286^\circ$

Der Winkel ist so klein, dass hier die Näherung $\sin \alpha = \tan \alpha$ angewendet werden darf.

Gleichungen gleichsetzen und nach n auflösen:

$$\frac{n \cdot \lambda}{g} = \frac{x_n}{a} \rightarrow n = \frac{x_n \cdot g}{a \cdot \lambda} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 2,51 \cdot 10^{-12}} = 1,99 \approx 2$$

Es handelt sich also um das 2. Nebenmaximum.

5 Gegeben ist ein vereinfachtes Termschema des Elements Cadmium. Links ist die Bindungsenergie in eV abgetragen, an den Übergängen sind die Wellenlängen in der Einheit nm zu finden.

5.1 Berechnen Sie die Energie für den Übergang mit $\lambda=171,0$ nm

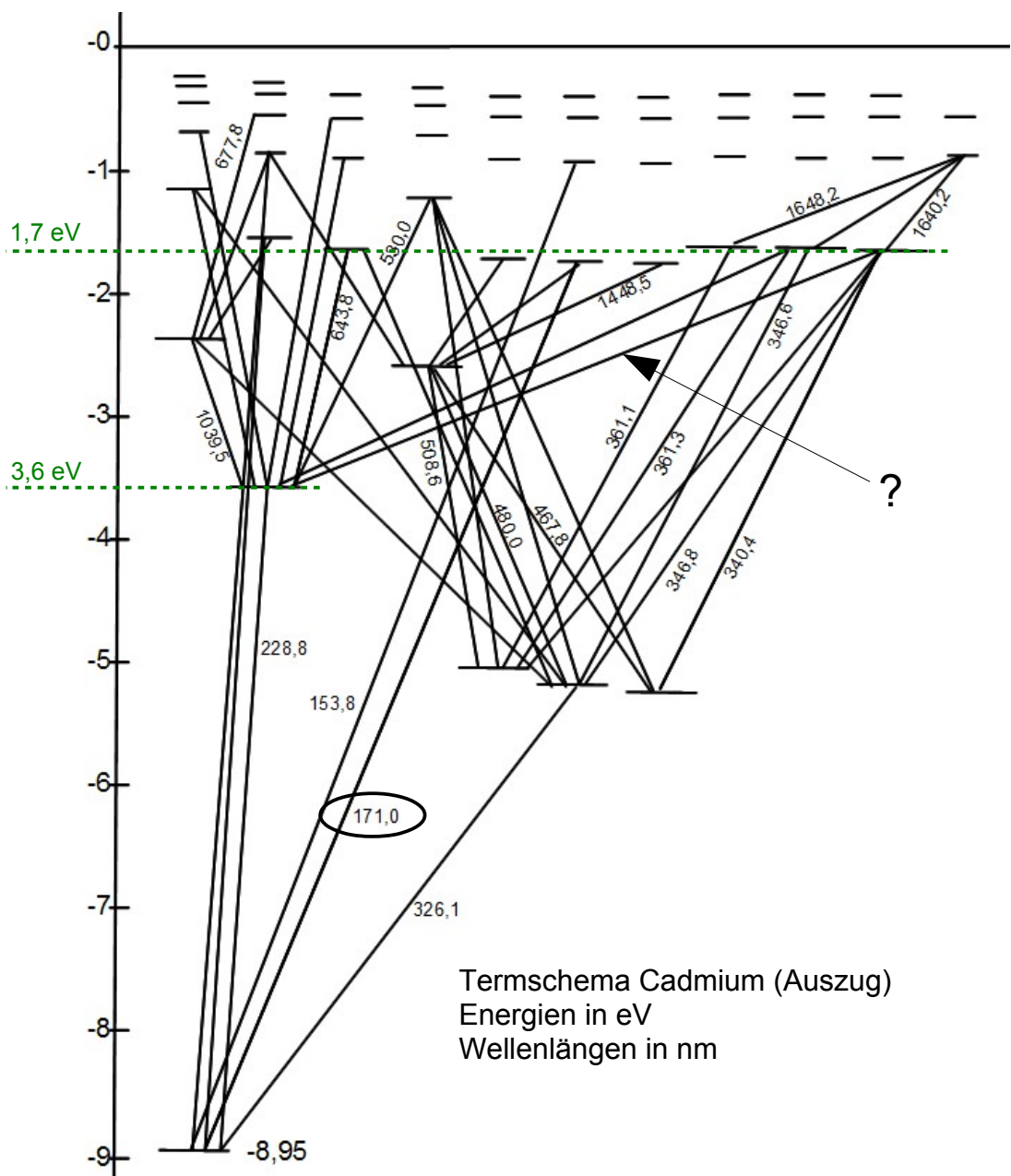
$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{171 \cdot 10^{-9}} \text{ J} = 1,158 \cdot 10^{-18} \text{ J} = \frac{1,158 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 7,2 \text{ eV}$$

5.2 Berechnen Sie die Wellenlänge für den mit einem Pfeil markierten eingetragenen Übergang.

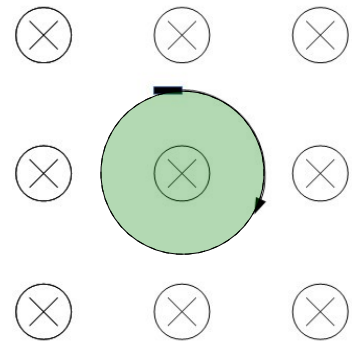
Die Energien werden aus dem Diagramm abgelesen: 1,7 eV und 3,6 eV.

Die Differenz beträgt also 1,9 eV. Damit ergibt sich:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \text{ m} = 6,51 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 651 \text{ nm}$$



- 6 In einem Magnetfeld werden Elektronen mit der Spannung $U_B=300\text{ V}$ beschleunigt.
Das Magnetfeld hat die magnetische Flussdichte $B=1\text{ mT}$.



- 6.1 Berechnen Sie den Radius der Bahn, auf dem sich die Elektronen bewegen.

Die im Magnetfeld wirkende Lorentzkraft F_L ist gleich der Zentripetalkraft F_Z :

$$F_L = F_Z \rightarrow e \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B}$$

Zur Berechnung muss v bekannt sein.

Beim Beschleunigen erhalten die Elektronen die potentielle Energie E_{Pot} und besitzen nach dem Beschleunigungsvorgang die kinetische Energie E_{Kin} . Durch Gleichsetzen der Energien kann man

v berechnen: $E_{Pot} = e \cdot U_B$; $E_{Kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow e \cdot U_B = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v^2 = \frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m}}$

$$r = \frac{m}{e \cdot B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U_B}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e \cdot B^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 300}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2}} m = 0,058\text{ m}$$

Der Radius beträgt also etwa 6 cm.

In das Magnetfeld wird nun ein Gas eingeleitet, das leicht durch Elektronenstöße zum Leuchten anzuregen ist.

- 6.2 Wird sich die Bahn der Elektronen ändern, wenn sie Atome zum Leuchten anregen? Geben Sie eine begründete Antwort und erläutern Sie, welche Bahnkurven die Elektronen im weiteren Verlauf zurücklegen.

Im Magnetfeld bewegen sich die Elektronen wegen der Lorentzkraft auf Kreisbahnen, deren Radius wegen $r = \frac{m \cdot v}{e \cdot B} \rightarrow r \sim v$ proportional zur Geschwindigkeit der Elektronen ist.

Regen die Elektronen ein Atom zum Leuchten an, verlieren sie Energie und ihre Geschwindigkeit wird deshalb kleiner. Damit wird auch der Radius kleiner. Im weiteren Verlauf werden also die Elektronen auf kleineren Kreisen umlaufen. Da nicht jede Energieabgabe als Anregungsenergie möglich ist, ist auch die Anzahl der möglichen Radien eingeschränkt.

- 6.3 Schraffieren Sie in der Skizze alle Stellen, an denen das Leuchten zu sehen ist.

Die Anregung zum Leuchten kann nur auf den Kreisbahnen erfolgen.

Da die Elektronen nur Energie abgeben, aber nicht aufnehmen können, werden die Radien nur kleiner und alle weiteren kleineren Kreis liegen in der zunächst durchlaufenen Kreisbahn.