1 Vakuumfotozelle

Eine Vakuumphotozelle besteht aus einem luftleeren Glasbehälter, dessen Rückwand mit einem Metall beschichtet ist (Kathode), und einer Ringanode in der Mitte des Behälters. (Siehe Abbildung 1.1 links) Wird diese z.B. mit ultraviolettem Licht bestrahlt, dann ensteht zwischen Kathode und Ringanode eine Spannung U.

Die folgenden Aufgaben werden mit der Webapp unter `http://ole.in/appfotozelle` durchgeführt, die einen Versuchsaufbau nach Abbildung 1.1 (Rechts) simuliert.

A 1.1. Belichte die Fotozelle (Kathodenmaterial Caesium) mit blauem LED-Licht bei 100% Intensität.

a) Notiere den zeitlichen Verlauf der Spannung U am Kondensator.
b) Zeichne ein $U(t)$-Diagramm.
c) Beschreibe den Verlauf des Graphen $U(t)$.

A 1.2. Wiederhole den vorherigen Versuch aus Aufgabe 1.1 mit ultraviolettem, gelbem und infrarotem Licht.

a) Zeichne für jede Lichtfarbe einen $U(t)$-Graphen in das Diagramm aus der vorherigen Aufgabe.
b) Beschreibe die Unterschiede zwischen den Graphen.
c) Stelle eine Hypothese auf, welche Auswirkungen die Lichtfarbe auf den Verlauf des Graphen hat.

A 1.3. Wiederhole den vorherigen Versuch aus Aufgabe 1.1 mit den Intensitäten 75%, 50% und 25%.

a) Zeichne für jede Intensität inklusive 100% einen $U(t)$-Graphen in ein gemeinsames Diagramm.
b) Beschreibe die Unterschiede zwischen den Graphen.
c) Stelle eine Hypothese auf, welche Auswirkungen die Intensität auf den Verlauf des Graphen hat.

A 1.4. Belichte die Fotozelle (Kathodenmaterial Bariumoxid-Paste) mit allen Lichtfarben bei 100% Intensität.

a) Bestimme für jede Lichtfarbe die Endspannung U.
b) Zeichne ein $U(\lambda)$-Diagramm.
c) Berechne für die Wellenlängen der Lichtfarben die passenden Frequenzen f.
d) Zeichne ein $U(f)$-Diagramm.
e) Beschreibe die beiden Graphen.

A 1.5. Durch ein Photon wird ein Elektron aus dem Kathodenmaterial herausgelöst und erhält eine kinetische Energie entsprechend der Endspannung. Löse unter Verwendung der Aufgabe 1.4.

a) Berechne die Energien der freigesetzten Elektronen für alle Lichtfarben.
b) Zeichne ein $E(f)$-Diagramm.
c) Bestimme den funktionalen Zusammenhang $E(f)$.

A 1.6. Wiederhole die Aufgabe 1.5 mit dem Kathodenmaterial Caesium.

a) Berechne die Energien der freigesetzten Elektronen für alle Lichtfarben.
b) Zeichne ein $E(f)$-Diagramm.
c) Bestimme den funktionalen Zusammenhang $E(f)$.
d) Vergleiche die Ergebnisse aus dieser Aufgabe und Aufgabe 1.5.

Abbildung 1.1: Schematischer Aufbau zu den Versuchen mit der Vakuumphotozelle. Links: ohne Kondensator, Mitte: QR-Code für die App, Rechts: mit Kondensator

2 Äußerer Lichtelektrischer Effekt

Ein Photon mit einer Frequenz f besitzt eine Energie von

$$E = hf \qquad \text{mit} \quad h = 6{,}6 \times 10^{-34}\,\text{Js}$$

A 2.1. Das sichtbare Spektrum des Lichtes liegt zwischen den Wellenlängen 390 nm und 770 nm.

a) Berechnen Sie die Grenzfrequenzen des sichtbaren Spektrums.
b) Bestimmen Sie die Energie eines Photons jeweils für die untere und obere Grenzfrequenz in J und eV.

Um ein Elektron aus einem Material herauszulösen ist eine Auslöseenergie E_A nötig. Nach dem Auslösen besitzt das Elektron eine kinetische Energie E_kin. Damit gilt für die Energie beim Herauslösen eines Elektrons durch ein Photon der Frequenz f:

$$E = E_\text{A} + E_\text{kin} = hf$$

A 2.2. Die Austrittsarbeit W_A oder Auslöseenergie E_A ist materialabhängig.

Material	W_A [eV]	Material	W_A [eV]	Material	W_A [eV]
Aluminium		Calcium		Platin	
Barium		Gold		Wolfram	
Cadmium		Eisen		Zink	
Caesium		Magnesium		Zinn	

a) Ermittle für die in der obigen Tabelle aufgeführten Materialien die Austrittsarbeit W_A und fülle die Tabelle sinnvoll aus.
b) Gebe an, aus welchem Material sich Elektronen besonders einfach herauslösen lassen.
c) Gebe an, aus welchen Materialien sich Elektronen mit Licht aus dem sichbaren Spektrum herauslösen lassen.
d) Berechne die Wellenlänge eines Photons, dass die Auslöseenergie von Barium besitzt und gebe die Farbe an.

Ein Elektron, dass durch eine Spannung von 1 Volt beschleunigt wurde, hat eine Energie von 1 eV erhalten. Ein Elektron, dass eine Potentialdifferenz von 1 Volt überwinden will, muss mindestens eine Energie von 1 eV besitzen.

$$E = eU$$

A 2.3. Eine blaue LED mit der Wellenlänge $\lambda = 430\,\text{nm}$ beleuchtet eine mit Caesium beschichtete Fotozelle. Die Fotozelle ist mit einem Kondensator verbunden. Über den Kondensator wird mit einem Spannungsmessgerät die Spannung U gemessen.

a) Berechnen Sie die kinetische Energie E_kin, die ein Elektron nach dem Herauslösen durch ein Photon der oben genannten Lichtquelle aus der Caesium-Schicht der Fotozelle hat, in J und eV.
b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Elektrons, nachdem es aus der Caesium-Schicht herausgelöst wurde.
c) Bestimmen Sie die Spannung U über dem Kondensator, wenn der Kondensator vollständig von der Fotozelle geladen wurde.
d) Skizzieren Sie den Verlauf der Spannung in Abhängigkeit von der Zeit beim Laden des Kondensators durch die Fotozelle in einem $U(t)$-Diagramm.
e) Die Fotozelle wird nun von zwei blauen LEDs so beleuchtet, dass die Intensität des Lichtes sich verdoppelt hat. Skizzieren Sie die Ladekurve $U(t)$ für diesen Fall in das in der vorherigen Teilaufgabe verwendete Diagramm.
f) Nun wird die Fotozelle mit einer grünen LED ($\lambda = 520\,\text{nm}$) beleuchtet. Skizzieren Sie die Ladekurve $U(t)$ für diesen Fall in das in den vorherigen Teilaufgaben verwendete Diagramm.
g) Zum Schluss wird die Fotozelle mit einer roten LED ($\lambda = 650\,\text{nm}$) beleuchtet. Beschreiben Sie die zu erwartende Beobachtung und erläutern Sie diese.

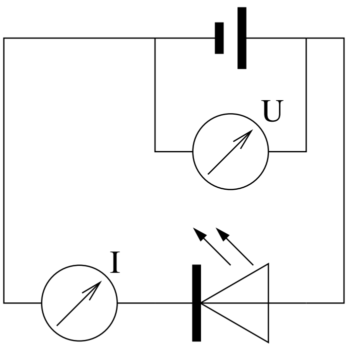
3 Versuch zum inneren lichtelektrischen Effekt

Je nach Farbe besitzen LEDs eine andere Spannung, ab der sie anfangen zu Leuchten. In der LED gibt ein Elektron Energie ab und es entsteht ein Photon einer für den verwendeten Halbleiter typischen Farbe. Dieses Photon besitzt damit eine bestimmte Frequenz bzw. Wellenlänge. Damit muss das Elektron eine bestimmte Mindestenergie besitzen bzw. es muss eine bestimmte Minimalspannung an der LED anliegen, um die LED zum Leuchten zu bringen. Im folgenden Versuch soll der Zusammenhang zwischen der Mindestenergie und der Frequenz des ausgesendeten Lichts untersucht werden.

Frequenz des Lichtes mit der Wellenlänge λ:	$f =$
Energie eines Photons mit der Frequenz f:	$E =$
Energie eines Elektrons, wenn es die Spannung U durchlaufen hat:	$E =$

Material: Regelnetzteil 15 V, 2 Multimeter, Laborkabel (3x blau, 2x rot), 2 Abgreifklemmen, klare LEDs

1. Bauen Sie eine Schaltung nach dem folgenden Schaltplan auf. Befestigen Sie dabei eine der LEDs mit den Abgreifklemmen an den Laborkabeln.



2. Stellen Sie auf dem einen Multimeter eine maximale Spannung von 3 V ein und auf dem anderen eine Stromstärke von 30 mA. Achten Sie bitte darauf, dass eine Stromstärke von 30 mA nicht überschritten wird.
3. Erhöhen Sie die Spannung soweit, dass ungefähr eine Stromstärke von 20 mA erricht wird. Drehen Sie dann die Spannung so lange runter, bis die LED gerade noch leuchtet.
4. Bestimmen Sie auf diese Weise auch die Mindestspannung für die restlichen LEDs.
5. Bestimmen Sie aus der Mindestspannung die Energie, die ein Elektron besitzt.
6. Tragen Sie die ermittelten Werte in ein $E(f)$-Diagramm ein und beschreiben Sie den Verlauf des Graphen.
7. Bestimmen Sie den funktionalen Zusammenhang $E(f)$.

Ergebnisse:

Farbe					
Wellenlänge					
Frequenz					
Spannung					
Energie					

4 Kurzwellige Grenze des Röntgenspektrums

In der Röntgenröhre wird energiereiche Bremsstrahlung mit einem charakteristischen Spektrum erzeugt. Dieses bricht nach dem Maximum mehr oder minder abrupt an der kurzwelligen Grenze ab.

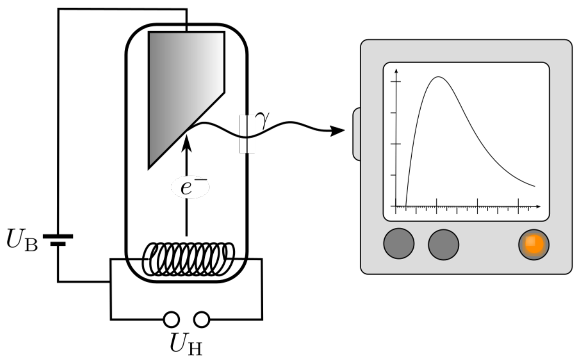


Abbildung 4.1: Röntgenröhre mit Spektralanalysator

1. Ermitteln Sie aus Abbildung 4.2 die kurzwellige Grenze (Wellenlänge λ und Frequenz f) des Röntgenspektrums in Abhängigkeit von den verschiedenen Beschleunigungsspannungen.
2. Berechnen Sie die Energie der Elektronen nach dem Durchlaufen der jeweiligen Beschleunigungsspannung.
3. Stellen Sie die Werte in einem E(f)-Diagramm dar.
4. Zeigen Sie, dass der funktionale Zusammenhang $E(f) = a \cdot f + b$ gilt.
5. Interpretieren Sie die Parameter a und b physikalisch und bewerten Sie diese.

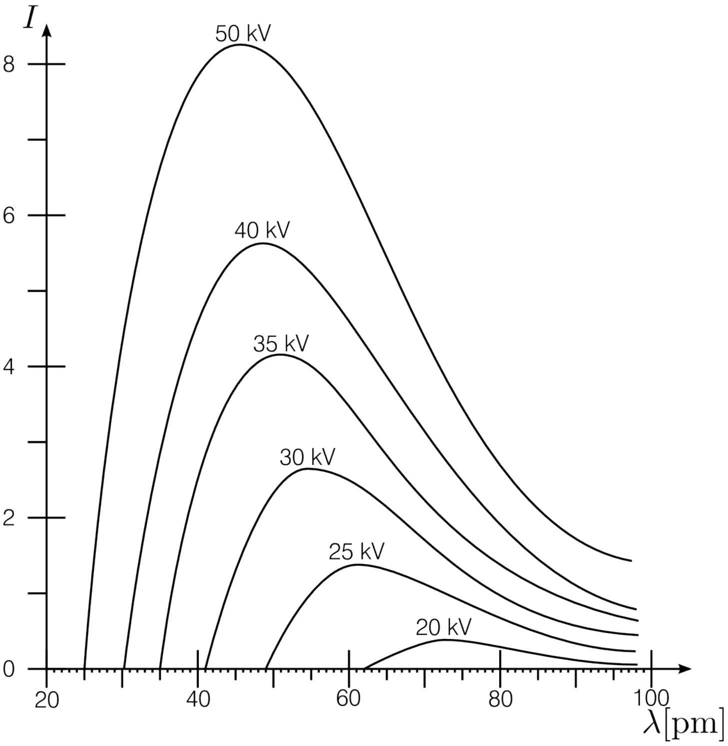


Abbildung 4.2: Intensität I der Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen U_a. Die Intensität ist ohne Einheit dargestellt, da der absolute Wert für die Auswertung nicht benötigt wird.

5 Impuls

Satz 5.1. Energieerhaltungssatz

In einem abgeschlossenen System ist bei reibungsfrei verlaufenden mechanischen Vorgängen die Summe der Potentiellen Energie, der Kinetischen Energie und der Spannenergie **konstant**.

$$W_\mathrm{p} + W_\mathrm{kin} + W_\mathrm{sp} = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Ds^2 = \mathrm{const.} \tag{5.1}$$

Der obige Energieerhaltungssatz ist ein elementarer Satz der Physik. Aber lassen sich damit alle mechanischen Vorgänge erklären?

Experiment 1. Der elastische Stoß

Material Aluminiumbahn, 5 Stahlkugeln

Durchführung Führe die folgenden kleinen Versuche durch und notiere Deine Beobachtungen.

1. Stelle die Bahn so auf, dass sie möglichst waagerecht steht.
2. Lege eine Kugel in die Mitte der Bahn und zweite an ein Ende. Schieße nun die zweite Kugel auf die erste.
3. Lege die Kugeln an die Enden der Bahn. Schieße beide Kugeln aufeinander.
4. Lege zwei Kugel in die Mitte. Die Kugeln müssen sich berühren. Schieße von einem Ende der Bahn eine dritte Kugel auf die beiden Kugeln.
5. Wiederhole den obigen Versuch. Halte aber diesmal die Kugel, auf die die dritte Kugel zuerst trifft, mit dem Finger fest. (Beide Kugeln in der Mitte müssen sich berühren!)
6. Lege eine Kugel in die Mitte und zwei ans Ende der Bahn. Schieße nun die zwei Kugeln auf die Kugel in der Mitte.
7. Lege die zwei Kugeln auf ein Ende und die dritte Kugel auf das andere Ende der Bahn. Schieße alle Kugeln aufeinander.
8. Lege drei Kugeln in die Mitte und schieße eine vierte Kugel auf die drei Kugeln.
9. Lege zwei Kugeln in die Mitte und zwei Kugel an den Rand. Schieße die Kugeln am Rand auf die Kugeln in der Mitte.
10. Lege drei Kugeln in die Mitte und zwei an den Rand. Schieße die Kugeln am Rand auf die Kugeln in der Mitte.
11. Lege zwei Kugeln in die Mitte und drei an den Rand. Schieße die Kugeln am Rand auf die Kugeln in der Mitte.
12. Lege drei Kugeln auf die eine Seite und zwei auf die andere Seite der Bahn. Schieße die Kugeln aufeinander.
13. Denke Dir weitere Versuche in dieser Art aus. Notiere sie und Deine Beobachtungen.
14. Versuche die Vorgänge mit dem Energieerhaltungsatz zu beschreiben.

6 Stoß

Stoßen zwei Objekte zusammen, so gelten für die stoßende Objekte zwei Erhaltungssätze.

Satz 6.1. Energieerhaltungssatz

Die Gesamtenergie vor und nach dem Stoß ist gleich.

Satz 6.2. Impulserhaltungssatz

Der Gesamtimpuls vor und nach dem Stoß ist gleich.

6.1 Stoßarten

Ein Stoß kann idealisiert als elastischer Stoß oder als unelastischer Stoß beschrieben werden. Reale Stöße liegen zwischen diesen beiden Möglichkeiten.

6.1.1 Elastischer Stoß

Beim elastischen Stoß bleibt die kinetische Energie und der Impuls nach dem Stoß erhalten.

$$E_1 + E_2 = E_1' + E_2' \quad \text{und} \quad p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$

6.1.2 Unelastischer Stoß

Beim unelastischen Stoß bleibt der Impuls nach dem Stoß erhalten. Beide Stoßpartner bewegen sich nach dem Stoß gemeinsam weiter. Ein Teil der kinetischen Energie wird dabei in Wärme umgewandelt.

$$v_1' = v_2' \quad \text{und} \quad p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$

6.2 Aufgaben

A 6.1. Ein Modelleisenbahnwaggon ($m_1 = 100\,\text{g}$) rollt aus dem Stand von einem Ablaufberg ($h = 20\,\text{cm}$) herunter. Er trifft auf einen zweiten stehenden Modelleisenbahnwaggon. Beide Waggons kuppeln aneinander und bewegen sich mit der Geschwindigkeit $v_2 = 0{,}5\,\text{m/s}$ weiter. Als Vereinfachung soll angenommen werden, dass der Vorgang reibungsfrei abläuft.

a) Gebe an, um was für einen Stoß es sich hierbei handelt.

b) Für die Geschwindigkeit v eines Waggons, der einen Ablaufberg der Höhe s herunterrollt, gilt:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$$

Berechne die Geschwindigkeit, mit der der erste Waggon auf den zweiten auftrifft.

c) Leite die Formel mit Hilfe der Formeln für den freien Fall her.

d) Berechne Impuls und Energie des ersten Waggons vor dem Stoß.

e) Berechne die Masse m_2 des zweiten Waggons.

f) Bestimme, wieviel von der kinetischen Energie in Wärmeenergie umgewandelt wurde.

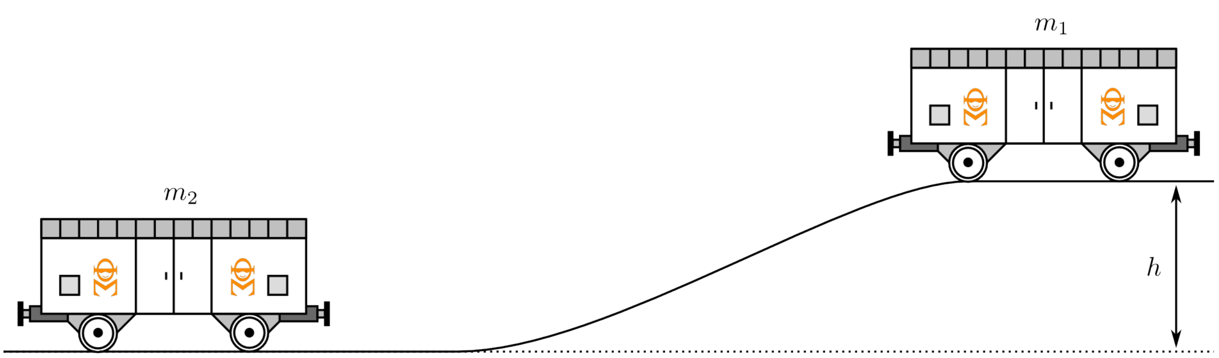


Abbildung 6.1: Zwei Waggons und der Ablaufberg

Abbildung 6.2: Links: Patrone .454 Casull. Rechts: Taurus Raging Bull Kaliber .44. Quelle: Wikimedia Commons

6.3 Wasabi

In dem französisch-japanischen Film *Wasabi* von 2001 spielt Jean Reno den ruppigen Polizisten Hubert Fiorentini, der einen Hang zu großen Waffen hat. Nach dem Tod seiner Jugendliebe fährt er nach Japan und erfährt dort, dass er eine Tochter hat. Auf dem Konto seiner Tochter befindet sich mehrere Millionen Euro, die der Yakuza, der japanischen Mafia, gehören. In der Bank kommt es zum Showdown zwischen dem Yakuza-Chef und Fiorentini. Dabei erschießt Fiorentini den Yakuza-Chef, der durch den Treffer über den Banktresen fliegt.

Eindrucksvoll, aber wie realistisch ist diese Szene? In der Bankszene benutzt Fiorentini einen *Taurus Raging Bull*. Diesen Revolver gibt es in verschiedenen Kalibern. Das aktuell erhältliche Modell mit dem größten Kaliber ($m = 1{,}5\,\mathrm{kg}$) benutzt Patronen des Typs .454 Casull, die 1957 als stärkere Version der klassischen .45 Colt-Patrone entwickelt wurden. Diese Patrone gibt es unter anderem mit einem 16 g schweren Geschoss und einer typischen Mündungsgeschwindigkeit von 540 m/s und auch mit einem 26 g schweren Geschoss und einer typischem Mündungsgeschwindigkeit von 430 m/s.

1. Bestimmen Sie Energie und Impuls für beide Patronenarten. Benutzen Sie für alle weiteren Aufgaben die Patronenart mit dem größten Impuls.
2. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, die der Revolver nach dem Schuss hätte, wenn er nicht fest von der Hand gehalten werden würde.
3. Wir gehen davon aus, dass die Kugel im Körper des Yakuza-Chefs stecken bleibt. Erläutern Sie, um welche Stoßart es sich hier handelt.
4. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, die der Yakuza-Chef nach dem Treffer hat.
5. Der Yakuza-Chef ist ca. 1,6 m groß. Dann liegt sein Schwerpunkt auf einer Höhe von 0,8 m. Bestimmen Sie die Fallzeit und damit die Entfernung, die der Schwerpunkt zurücklegt, bis der Körper auf dem Boden aufschlägt.
6. Beurteilen Sie auf Basis Ihrer Ergebnisse die Glaubwürdigkeit der Filmszene.

7 Elektronenbeugung

In einer Elektronenbeugungsröhre werden Elektronen beschleunigt und durch eine Graphitfolie geschickt. Das auf dem Leuchtschirm erscheinende Beugungsmuster bestätigt die Vermutung, dass auch Teilchen als Welle betrachtet werden können.

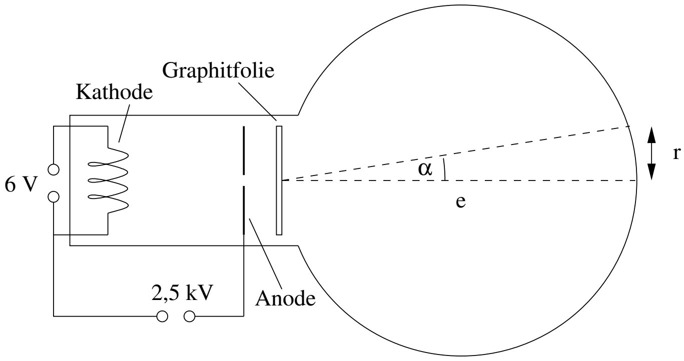
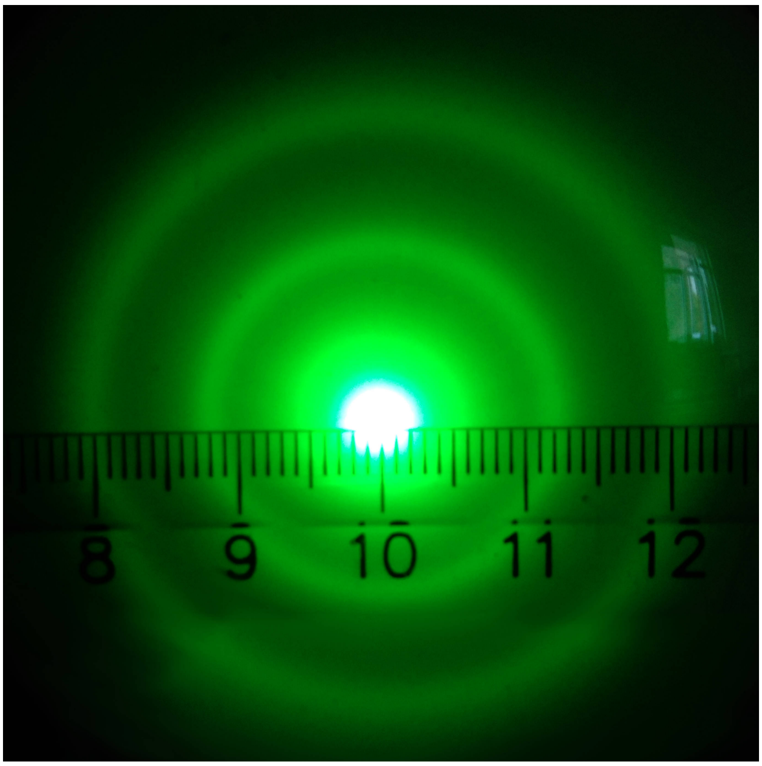


Abbildung 7.1: Elektronenbeugungsröhre

$e = 12{,}7\,\text{cm}$
$U_a = 4\,\text{kV}$
Typische Gitterkonstanten:
$g_1 = 213\,\text{pm}$
$g_2 = 123\,\text{pm}$

Wegen der dreidimensionalen Struktur des Graphits müsste eigentlich die Bragg-Gleichung für die Bestimmung der Winkel konstruktiver Interferenz verwendet werden. Aufgrund der bei dem Versuch auftretenden kleinen Winkel können Sie als Vereinfachung die Graphitfolie als Gitter betrachten. Die typischen Gitterkonstanten sind $g_1 = 213\,\text{pm}$ und $g_2 = 123\,\text{pm}$.

1. Bestimmen Sie aus dem Radius des Beugungsrings den Winkel konstruktiver Interferenz.
2. Bestimmen Sie für beide Gitterkonstanten die resultierenden Wellenlängen für das Elektron.
3. Bestimmen Sie aus der Gleichung von De-Broglie die Wellenlänge des Elektrons. Vergleichen Sie dieses Ergebnis mit dem Ergebnis aus der vorherigen Aufgabe.



Hilfen

$$\tan\alpha = \frac{r}{e}$$

$$\sin\alpha_n = \frac{n\cdot\lambda}{g}$$

$$E = q\cdot U$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m\cdot v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

Abbildung 7.2: Beugungsbild einer Elektronenröhre mit einer Spannung von 4 kV.

8 Lösungen

2 Lichtelektrischer Effekt

A 2.1

a) $f = ?$; $\lambda_1 = 390 \times 10^{-9}$ m; $\lambda_2 = 770 \times 10^{-9}$ m; $c = 3 \times 10^8$ m/s

$$f = \frac{c}{\lambda} \qquad f_1 = \frac{3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}}{390 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}} = 7{,}69 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz} \quad f_2 = \frac{3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}}{770 \times 10^{-9}\,\mathrm{m}} = 3{,}90 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz}$$

b) $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js; $1\,\mathrm{eV} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ J; Formel: $E = hf$

$E_1 = 6{,}6 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js} \times 7{,}7 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz} = 5{,}1 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} = 3{,}2\,\mathrm{eV}$ $\quad E_2 = 6{,}6 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js} \times 3{,}9 \times 10^{14}\,\mathrm{Hz} = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} = 1{,}6\,\mathrm{eV}$

A 2.2

a)

Material	W_A [eV]	Material	W_A [eV]	Material	W_A [eV]
Aluminium	4,20	Calcium	3,20	Platin	5,36
Barium	2,52	Gold	4,71	Wolfram	4,53
Cadmium	4,04	Eisen	4,63	Zink	3,95
Caesium	1,94	Magnesium	3,70	Zinn	4,39

b) Caesium

c) Barium und Caesium. Calcium ist gerade auf der Grenze.

d) $E_A = 2{,}52\,\mathrm{eV} = 4{,}04 \times 10^{-19}$ J; $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js; $c = 3 \times 10^8$ m/s

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{\frac{E_A}{h}} = \frac{c\,h}{E_A} = \frac{3 \times 10^8\,\mathrm{m/s} \times 6{,}6 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js}}{4{,}04 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}} = 4{,}90 \times 10^{-7}\,\mathrm{nm} = 490\,\mathrm{nm}$$

Das Licht hat eine Wellenlänge von 490 nm und liegt damit zwischen Grün und Blau.

A 2.3

a) $E_{\mathrm{kin}} = ?$; $\lambda = 430\,\mathrm{nm} = 4{,}3 \times 10^{-7}$ m; $E_A = 1{,}94\,\mathrm{eV} = 3{,}11 \times 10^{-19}$ J; $c = 3 \times 10^8$ m/s; $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js

$$hf = E_A + E_{\mathrm{kin}} \Rightarrow E_{\mathrm{kin}} = hf - E_A = h\frac{c}{\lambda} - E_A = 6{,}6 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js}\,\frac{3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}}{4{,}3 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}} - 3{,}11 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \approx 1{,}49 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \approx 0{,}93\,\mathrm{eV}$$

b) $v = ?$; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg; $E_{\mathrm{kin}} = 1{,}49 \times 10^{-19}$ J

$$E_{\mathrm{kin}} = \frac{1}{2} m\,v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2E_{\mathrm{kin}}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}49 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}}{9{,}11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}}} \approx 572\,000\,\mathrm{m/s} = 572\,\mathrm{km/s}$$

c) Die maximale Spannung im Kondensator hängt von der Energie der Elektronen ab. Die Elektronen besitzen eine Energie von 0,93 eV, also beträgt die maximale Spannung im Kondensator 0,93 V.

d) Begrenztes exponentielles Wachstum mit einer Grenze bei 0,93 V.

e) Die Kurve entspricht der Kurve aus der vorherigen Aufgabe. Sie ist um den Faktor zwei zur X-Achse gestaucht. Der Ladevorgang geht doppelt so schnell.

f) $E_{\mathrm{kin}} = ?$; $\lambda = 520\,\mathrm{nm} = 5{,}2 \times 10^{-7}$ m; $E_A = 1{,}94\,\mathrm{eV} = 3{,}11 \times 10^{-19}$ J; $c = 3 \times 10^8$ m/s; $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js

$$hf = E_A + E_{\mathrm{kin}} \Rightarrow E_{\mathrm{kin}} = hf - E_A = h\frac{c}{\lambda} - E_A = 6{,}6 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js}\,\frac{3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}}{5{,}2 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}} - 3{,}11 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \approx 6{,}98 \times 10^{-20}\,\mathrm{J} \approx 0{,}44\,\mathrm{eV}$$

Begrenztes exponentielles Wachstum mit einer Grenze bei 0,77 V.

g) $E_{\mathrm{kin}} = ?$; $\lambda = 650\,\mathrm{nm} = 6{,}5 \times 10^{-7}$ m; $E_A = 1{,}94\,\mathrm{eV} = 3{,}11 \times 10^{-19}$ J; $c = 3 \times 10^8$ m/s; $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js

$$hf = E_A + E_{\mathrm{kin}} \Rightarrow E_{\mathrm{kin}} = hf - E_A = h\frac{c}{\lambda} - E_A = 6{,}6 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js}\,\frac{3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}}{6{,}5 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}} - 3{,}11 \times 10^{-19}\,\mathrm{J} \approx -6{,}38 \times 10^{-21}\,\mathrm{J} \approx -0{,}04\,\mathrm{eV}$$

Die Energie des Photons ist kleiner als die Auslösearbeit. Es können daher keine Elektronen herausgelöst werden. Der Kondensator wird nicht geladen.

3 Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums

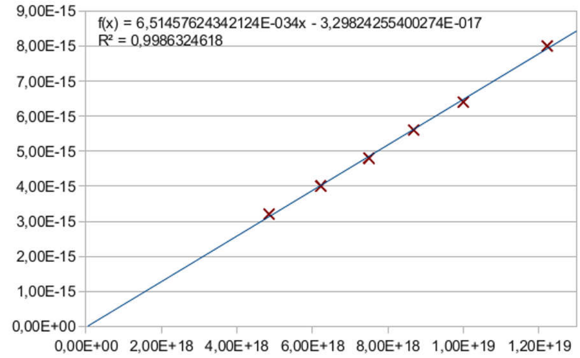
Frequenz des Lichtes mit der Wellenlänge λ: $f = c/\lambda$

Energie eines Photons mit der Frequenz f: $E = h \cdot f$

Energie eines Elektrons, wenn es die Spannung U durchlaufen hat: $E = e \cdot U$

4 Kurzwellige Grenze des Röntgenspektrums

U [V]	X-Achse [mm]	lambda [nm]	f [Hz]	E [J]
20.000	46	0,06182	4,85E+18	3,20E-15
25.000	31	0,04818	6,23E+18	4,01E-15
30.000	22	0,04000	7,50E+18	4,81E-15
35.000	16	0,03455	8,68E+18	5,61E-15
40.000	11	0,03000	1,00E+19	6,41E-15
50.000	5	0,02455	1,22E+19	8,01E-15



5 Impuls

6 Stoß

6.3 Wasabi

1. Bestimmen Sie Energie und Impuls für beide Patronenarten. Benutzen Sie für alle weiteren Aufgaben die Patronenart mit dem größten Impuls.

   a) ges.: $p =?$ und $E =?$; geg.: $m = 16\,\mathrm{g}$ und $v = 540\,\mathrm{m/s}$

   $$p = m \cdot v \ ; \ [p] = 1\,\mathrm{g} \times 1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 1\,\frac{\mathrm{g\,m}}{\mathrm{s}} = 0{,}001\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}} \ ; \ \{p\} = 16 \times 540 = 8640 \ ; \ p = 8{,}64\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}$$

   $$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \ ; \ [E] = 1\,\mathrm{g} \times \left(1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 0{,}001\,\mathrm{J} \ ; \ \{E\} = 0{,}5 \times 16 \times 540^2 = 2{,}33 \times 10^6 \ ; \ E = 2{,}33 \times 10^3\,\mathrm{J} = 2{,}33\,\mathrm{kJ}$$

   b) ges.: $p =?$; geg.: $m = 26\,\mathrm{g}$ und $v = 430\,\mathrm{m/s}$

   $$p = m \cdot v \ ; \ [p] = 1\,\mathrm{g} \times 1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 1\,\frac{\mathrm{g\,m}}{\mathrm{s}} = 0{,}001\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}} \ ; \ \{p\} = 26 \times 430 = 11\,180 \ ; \ p = 11{,}18\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}$$

   $$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \ ; \ [E] = 1\,\mathrm{g} \times \left(1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2 = 0{,}001\,\mathrm{J} \ ; \ \{E\} = 0{,}5 \times 26 \times 430^2 = 2{,}40 \times 10^6 \ ; \ E = 2{,}40 \times 10^3\,\mathrm{J} = 2{,}40\,\mathrm{kJ}$$

2. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, die der Revolver nach dem Schuss hätte, wenn er nicht fest von der Hand gehalten werden würde.
   ges.: $v =?$; geg.: $m = 1{,}5\,\mathrm{kg}$ und $p = 11{,}18\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}$

   $$p = m \cdot v \Longrightarrow v = \frac{p}{m} \ ; \ [v] = \frac{1\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}}{1\,\mathrm{kg}} = 1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \ ; \ \{v\} = \frac{11{,}18}{1{,}5} \approx 7{,}45 \ ; \ v = 7{,}45\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

3. Wir gehen davon aus, dass die Kugel im Körper des Yakuza-Chefs stecken bleibt. Erläutern Sie, um welche Stoßart es sich hier handelt.
   Da beide Körper sich nach dem Stoß zusammen weiterbewegen, handelt es sich um eine unelastischen Stoß.

4. Für den Yakuza-Chef nehmen wir eine Masse von 70 kg an. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit, die der Yakuza-Chef nach dem Treffer hat.
   ges.: $v =?$; geg.: $m = 70\,\mathrm{kg}$ und $p = 11{,}18\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}$

   $$p = m \cdot v \Longrightarrow v = \frac{p}{m} \ ; \ [v] = \frac{1\,\frac{\mathrm{kg\,m}}{\mathrm{s}}}{1\,\mathrm{kg}} = 1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \ ; \ \{v\} = \frac{11{,}18}{70} \approx 0{,}16 \ ; \ v = 0{,}16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

5. Der Yakuza-Chef ist ca. 1,6 m groß. Dann liegt sein Schwerpunkt auf einer Höhe von 0,8 m. Bestimmen Sie die Fallzeit und damit die Entfernung, die der Schwerpunkt zurücklegt, bis der Körper auf dem Boden aufschlägt.
   ges.: $t =?$; geg.: $h = 0{,}8\,\mathrm{m}$ und $g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

   $$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \Longrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \ ; \ [t] = \sqrt{\frac{1\,\mathrm{m}}{1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = 1\,\mathrm{s} \ ; \ \{t\} = \sqrt{\frac{2 \times 0{,}8}{9{,}81}} \approx 0{,}40 \ ; \ t = 0{,}40\,\mathrm{s}$$

   ges.: $s =?$; geg.: $v = 0{,}16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ und $t = 0{,}40\,\mathrm{s}$

   $$s = v \cdot t \ ; \ [s] = 1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 1\,\mathrm{s} = 1\,\mathrm{m} \ ; \ \{s\} = 0{,}16 \cdot 0{,}40 \approx 0{,}064 \ ; \ v = 0{,}064\,\mathrm{m}$$

6. Beurteilen Sie auf Basis Ihrer Ergebnisse die Glaubwürdigkeit der Filmszene.
   Würde dem Yakuza-Chef durch den Schuss die Beine unter dem Körper weggerissen, so würde sein Flug ca. 0,4 Sekunden dauern. In dieser Zeit würde er sich aber nur 6,4 cm weit nach hinten bewegen. Die Szene ist also völlig unglaubwürdig.

Inhaltsverzeichnis